

การควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบรับรังสีรวมกลาง
IMAGE – GUIDED CONTROL FOR CENTRAL RECEIVER SYSTEM

อชิราช ประดิษฐ์อภัย
ATIRAT PRADITAPAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ.2554

การควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบรับรังสีรวมกลาง

อธีราช ประดิษฐ์อภัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ.2554

IMAGE – GUIDED CONTROL FOR CENTRAL RECEIVER SYSTEM

ATIRAT PRADITAPAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
IN MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2011

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัยขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็น
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้า
ขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นายอชิราช ประดิษฐ์อภัย



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบรับรังสีรวมกลาง IMAGE – GUIDED CONTROL FOR CENTRAL RECEIVER SYSTEM
ชื่อนักศึกษา	นายอชิราช ประดิษฐ์อภัย
รหัสประจำตัว	115270430117-3
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ดร.มนูศักดิ์ जानทอง
วัน เดือน ปี ที่สอบ	30 มีนาคม 2554
สถานที่สอบ	ห้องมีฤทธิ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์)

..... กรรมการ

(ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีตระกูลชัย)

..... กรรมการ

(ดร.ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์)

..... กรรมการ

(ดร.มนูศักดิ์ जानทอง)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมหมาย ผิวสอาด)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบรับรังสีรวมกลาง
ชื่อนักศึกษา	นายอธีราช ประดิษฐ์อภัย
รหัสประจำตัว	115270430117-3
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ดร.มนูศักดิ์ จานทอง

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบรับรังสีรวมกลาง โดยระบบแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ในระบบติดตามดวงอาทิตย์ โครงสร้างมีองศาอิสระเท่ากับ 2 และใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมในการตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ส่วนระบบสะท้อนแสงอาทิตย์มีองศาอิสระเท่ากับ 2 และติดตั้งแผ่นกระจกไว้ด้านบนโครงสร้างเพื่อเป็นตัวสะท้อนแสงอาทิตย์

สำหรับการออกแบบตัวควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID - controller) และมีเป้าหมายต้องการควบคุมให้ตำแหน่งกึ่งกลางดวงอาทิตย์ที่ได้จากกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมอยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางข้อมูลภาพ จากนั้นคำนวณหาค่าตำแหน่งดวงอาทิตย์เพื่อใช้ในการควบคุมการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ให้สะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังเป้าหมายที่ต้องการ

การทดลองแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ 1. ศึกษาผลตอบสนองของระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้หลอดไฟแทนดวงอาทิตย์ ผลการทดลองพบว่าระบบมี Peak time (T_p) = 0.5 วินาที, Settling time (T_s) = 1.5 วินาที และมี Steady state error ± 3 พิกเซล 2. ทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ผลการทดลองพบว่าระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงและมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ ± 5 พิกเซล 3. ทดลองการทำงานระหว่างระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังเป้าหมายได้ตลอดช่วงเวลาที่ทดสอบ มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ± 0.5 เมตร

คำสำคัญ: การควบคุมด้วยภาพ, ระบบติดตามดวงอาทิตย์, ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

Thesis Title : IMAGE – GUIDED CONTROL FOR CENTRAL
RECEIVER SYSTEM

Student Name : Mr. Atirat Praditapai

Student ID : 115270430117-3

Degree Award : Master of Engineering

Study Program : Mechanical Engineering

Academic Year : 2010

Thesis Advisor : Dr. Manusak Janthong

ABSTRACT

This thesis presents an image – guided control for a central receiver system which consists of 2 subsystems: the sun tracking system and sunlight reflecting system. The structure of the sun tracking system has 2 DOF and an industrial camera was used to detect the sun position. The sunlight reflecting system has 2 DOF and a mirror was installed at the top of the structure to reflect the sunlight.

PID controller was implemented in LabVIEW software to control the sun tracking system and to regulate the center of sun position at the center of image data. Then the sun position was calculated to control the rotation of the sunlight reflecting system in order to reflect the sunlight to the target.

The experiments can be divided into 3 parts. Firstly, the electric bulb simulating the sun is used for testing the system response and the accuracy of the sun tracking. It was found that the system response has a peak time of 0.5 s, settling time of 1.5 s and ± 3 pixel of steady state error. Secondly to test the sun tracking system, it shown that the system worked well and has error with in ± 5 pixel. Finally, to test the working performance between the tracking system and the sunlight reflecting system, it was seen that the system worked well and has error with in ± 0.5 meters.

Keywords: Image – Guided Control, Sun Tracking System, Central Receiver System

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ดร.มนูศักดิ์ จานทอง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษาในการทำวิจัย แนวทางการแก้ปัญหา ข้อคิดต่างๆในการทำวิจัย และอุปกรณ์การวิจัยต่างๆ พร้อมทั้งดูแลและสอบถามถึงความก้าวหน้าของวิทยานิพนธ์ ทำให้ผู้เขียนทำงานได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์ ดร.ปรัชญา เปรมปราณีรัชต์ ดร.มนูศักดิ์ จานทอง และอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิจากมหาวิทยาลัยมหิดล ดร.เกียรติศักดิ์ ศรีตระกูลชัย ที่ได้ให้คำแนะนำเพิ่มเติม พร้อมทั้งข้อเสนอแนะ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและบุคลากรที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย พร้อมทั้งยังอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้เขียนได้ทำวิจัยได้อย่างราบรื่น รวมถึงมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนทุนในการวิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนในการศึกษาและให้กำลังใจ พร้อมทั้งกระตุ้นให้การทำวิจัยสำเร็จลงได้ด้วยดี ตลอดจนคณะอาจารย์ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจ ให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสร็จสมบูรณ์

อิทธิราช ประดิษฐ์อภัย

30 มีนาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลก	9
2.3 เวลาท้องถิ่นและเวลาสุริยะ	15
2.4 การหาเวกเตอร์ตำแหน่ง	16
2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับกล้อง	20
2.6 ระบบควบคุมพีไอดี	23
บทที่ 3 ขั้นตอนการทดลอง	27
3.1 ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง	27
3.2 การประมวลผลภาพ	31
3.3 การควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์	35
3.4 ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง	36
3.5 ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง	37
3.6 การควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง	40
3.8 ระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง	41
3.9 การควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์	42
3.10 ระบบสัญญาณการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์	43
บทที่ 4 ผลการทดลอง	44
4.1 การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์	44
4.2 การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์	48
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผลการทดลอง	54
5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา	55
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	56
เอกสารอ้างอิง	57
ภาคผนวก	59
ก. รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	60
ข. โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง	70
ค. ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	79
ประวัติผู้เขียน	93

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางวันที่ของรอบปี	12
2.2 ผลตอบสนองของตัวแปร	26

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของระบบหาตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยใช้ Pyrheliometer	5
2.2 ระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี	6
2.3 โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม	6
2.4 Calibration mode	7
2.5 Track mode	7
2.6 Heliostat ที่เคลื่อนที่ได้ 2 แกน	8
2.7 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	9
2.8 การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ในวันที่ 21 ธันวาคม	10
2.9 การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ในวันที่ 21 มิถุนายน	10
2.10 มุมต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์กับพื้นผิวโลก	11
2.11 มุมอะซิมุทและมุมอัลติจูด	11
2.12 เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์	16
2.13 Normal vector เป้าหมาย	19
2.14 CCD และ CMOS เซ็นเซอร์	21
2.15 โครงสร้างของ CCD เซนเซอร์	22
2.16 โครงสร้างของ CMOS เซนเซอร์	22
2.17 การควบคุมแบบพีไอดี	24
2.18 การควบคุมแบบป้อนกลับ	24
3.1 โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์	28
3.2 ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง	28
3.3 ก่อตั้งดิจิทัลอุตสาหกรรม	29
3.4 ข้อมูลภาพขาวเทา	29
3.5 ข้อมูลภาพสีขาวยกกับสีดำ	30
3.6 มอเตอร์ไครว์	30
3.7 มอเตอร์	31
3.8 ภาพที่ผ่านการไปนาไรซ์	32

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 แผนผังการทำไบนารี	33
3.10 แผนผังการหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์	34
3.11 ระบบสัญญาณการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง	36
3.12 ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง	37
3.13 มอเตอร์ไคร้	38
3.14 มอเตอร์	38
3.15 ระบบสัญญาณการควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง	40
3.16 ระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง	41
3.17 ระบบสัญญาณการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์	43
4.1 ลักษณะการตอบสนองของระบบโดยใช้หลอดไฟ	45
4.2 การทดลองติดตามดวงอาทิตย์	46
4.3 ลักษณะการตอบสนองของระบบติดตามดวงอาทิตย์	47
4.4 การทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์	48
4.5 ระบายของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์และตำแหน่งเป้าหมายของการทดลอง	49
4.6 เป้าหมายการทดลอง	49
4.7 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์	50
4.8 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์	51
4.9 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ระหว่างมุมการหมุนของมอเตอร์กับเวลา	52
4.10 ผลการทดลองระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ระหว่างมุมการหมุนของมอเตอร์กับเวลา	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันวิกฤตพลังงานยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จะเห็นได้จากราคาน้ำมันที่ประชาชนต้องจ่ายให้กับรถยนต์ ราคาไฟฟ้าต่อหน่วยที่เพิ่มสูงขึ้น และรวมไปถึงราคาแก๊สที่จะปรับราคาเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นพลังงานทางเลือกจึงเป็นพลังงานที่ไม่อาจจะมองข้ามได้อีกแล้ว พลังงานทางเลือกที่พบเห็นกันมากได้แก่ พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนการใช้ น้ำมันและแก๊ส เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตที่ได้รับแสงอาทิตย์ปริมาณมากต่อวัน ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงนำเสนอโครงการวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแสงอาทิตย์

ปัจจุบันเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าแบ่งเป็น 2 ระบบ ระบบแรกคือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV - Stand alone system) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid - connected system) และ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) ระบบที่สอง คือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนแสงอาทิตย์ เช่น แบบรางพาราโบลิก (Parabolic - troughs) แบบตัวรับรังสีรวมกลาง (Central receivers) และแบบจานพาราโบลิก (Parabolic dishes) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะศึกษาแบบตัวรับรังสีรวมกลาง โดยศึกษาการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์สำหรับตัวรับรังสีรวมกลาง ซึ่งเป็นระบบที่ได้รับความนิยมในการนำมาศึกษาการควบคุม เนื่องจากระบบติดตามดวงอาทิตย์เป็นระบบที่มีวิธีการควบคุมหลายวิธี เช่น วิธีการใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ วิธีการใช้อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี วิธีการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ด้วยการคำนวณจากสมการคณิตศาสตร์ เป็นต้น จึงเหมาะแก่การนำมาศึกษาเพื่อออกแบบตัวควบคุม ส่วนระบบสะท้อนแสงอาทิตย์เป็นการประยุกต์การนำข้อมูลที่ได้จากระบบติดตามดวงอาทิตย์มาควบคุมการทำงานของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

ตัวควบคุมที่ใช้ในการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ในปัจจุบันมีมากมาย เช่น ตัวควบคุมพีไอดี (PID control) ตัวควบคุมแบบสถานะป้อนกลับ (Feedback - control) ตัวควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro - controller) ตัวควบคุมแบบพีแอลซี (PLC) เป็นต้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์โดยระบบติดตามดวงอาทิตย์ใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดีมาใช้ในการควบคุม ส่วนระบบสะท้อนแสงอาทิตย์เป็นการนำเอาข้อมูลที่ได้จากระบบติดตามดวงอาทิตย์มาควบคุมการทำงาน โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาและออกแบบตัวควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์

1.2.2 ศึกษาและออกแบบตัวควบคุมตำแหน่งให้สามารถควบคุมระบบสะท้อนได้ตามตำแหน่งที่ต้องการ

1.2.3 ใช้สัญญาณภาพจากกล้องในการติดตามดวงอาทิตย์

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ออกแบบระบบควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่มีองศาอิสระเท่ากับ 2

1.3.2 ใช้กล้องที่มีความละเอียด 1034x779 พิกเซล อัตราการเก็บภาพ 30 fps และมีอินเตอร์เฟสแบบ IEEE 1394b เป็นตัวตรวจวัดตำแหน่งดวงอาทิตย์

1.3.3 ประดิษฐ์โปรแกรมสำหรับควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW

1.3.4 ประดิษฐ์โปรแกรมสำหรับควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์โดยใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW

1.3.5 ในการทดลองจะทำการทดลองภายในวันเดียว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เป็นฐานความรู้ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์

1.4.2 รู้ถึงระบบโครงสร้างตัวตรวจรู้ของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์หรือระบบรวมแสงอาทิตย์สำหรับระบบรับรังสีรวมกลาง

1.4.3 ผู้วิจัยคาดหมายว่า งานวิจัยนี้สามารถนำไปตีพิมพ์ในระดับประเทศอย่างน้อย 1 ครั้ง นอกจากนี้แล้วผู้ที่สนใจในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและนำ

เทคโนโลยีการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และสะท้อนแสงอาทิตย์ไปใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า
โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบติดตามดวงอาทิตย์ ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการควบคุม รวมถึงงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ส่วนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจะประกอบไปด้วย ทฤษฎีตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลก ซึ่งจะนำไปใช้ในการหาค่ามุมต่างๆที่มีความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์กับพื้นผิวโลก ทฤษฎีการหาเวกเตอร์ตำแหน่ง ทฤษฎีกล้องดิจิทัล และการออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอดี

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

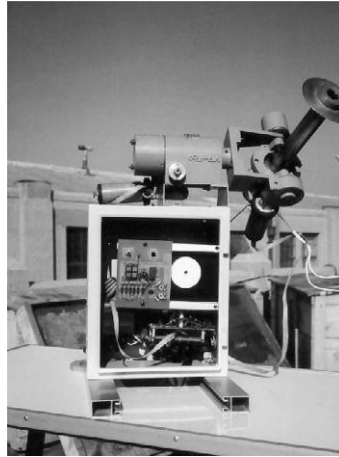
Aracil และ คณะ [1] นำเสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้ตัวตรวจจับที่ถูกทำมาด้วยเทคโนโลยี MEMS ส่วนอัลกอริทึมที่ใช้ในการควบคุมนั้นได้ใช้การพิจารณาสถานะอุนิยามวิทยา

ชนกร และ คณะ [2] ได้ออกแบบอุปกรณ์ติดตามดวงอาทิตย์ โดยวิธีการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ด้วยการคำนวณจากสมการคณิตศาสตร์ ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างผิวโลกกับพิกัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์แทนการใช้ตัวตรวจวัดแอลดีอาร์ (LDR) โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น P89V51RD2 เพื่อที่จะควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้หมุนตามพิกัดของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้หลักการควบคุมแบบป้อนกลับ

คงฤทธิ และ คณะ [3] ได้นำเสนอโปรแกรมจำลองติดตามดวงอาทิตย์ (Sun tracking and simulation) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ เวลาใดๆ โดยการแสดงผลจะออกมาเป็นทั้งค่าของ มุมซันนิซ (Zenith angle) มุมอซิมูทสูริยะ (Solar azimuth) มุมอัลติจูดสูริยะ (Solar altitude) มุมระหว่างแนวเส้นแวงอาทิตย์ (Declination angle) และมุมชั่วโมง (Hour angle) อีกทั้งยังสามารถแสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และแบบติดตั้งอยู่กับที่

Roth และ คณะ [4] ได้สร้างระบบจักรกลไฟฟ้าในการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยใช้ระบบวัดตำแหน่งดวงอาทิตย์แบบออตโนมิตีด้วยโฟโต้ไดโอดจำนวน 4 ตัว (Four - quadrant photodiode) ซึ่งติดตั้งเป็นวงกลม และวัดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ด้วยเครื่องมือวัดพลังงานจากดวง

อาทิตย์ (Pyrheliometer) ส่วนระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบจักรกลไฟฟ้าแบบอัตโนมัติได้ใช้การควบคุมแบบวงปิดและมีตัวต้นกำลังเป็นดิซีมอเตอร์



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบหาตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยใช้เครื่องมือวัดพลังงานจากดวงอาทิตย์ [4]

Bakos [5] ได้ออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนที่มีโครงสร้างอย่างง่ายที่ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับ โดยที่โครงสร้างนี้จะต้องง่ายแก่การติดตั้ง การทำงานและยังต้องการซ่อมบำรุงต่ำ ส่วนตัวตรวจวัดตำแหน่งดวงอาทิตย์นั้นได้ใช้โฟโตรีซิสเตอร์ (Photoresistor) จำนวน 2 ตัว ต่ออนุกรมกัน

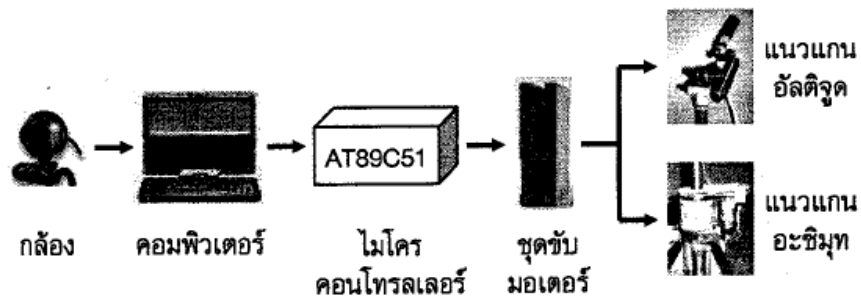
อนุชา และ คณะ [6] ได้ออกแบบเครื่องติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน ส่วนตัวตรวจจับรังสีดวงอาทิตย์ได้ใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ โดยใช้หลักการบังเงาจากกัน ในการขับเคลื่อนนั้นได้ใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นตัวต้นกำลังจำนวน 2 ตัว เพื่อที่เครื่องติดตามดวงอาทิตย์นี้จะได้เคลื่อนที่ตามแนวแกนอัลติจูด และ อซิมูท

ธนภัทร พรหมวัฒน์ภักดี และ คณะ [7] เสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี โดยในการติดตามดวงอาทิตย์ใช้หลักการบังเงาจากกัน มีโฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ การวางตำแหน่งโฟโตทรานซิสเตอร์ออกแบบให้สามารถตรวจจับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ครอบคลุมตลอดทั้ง 2 แนว ส่วนการควบคุมจะใช้การควบคุมแบบซีพีแอลดี (Complex programmable logic device)



รูปที่ 2.2 ระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี [7]

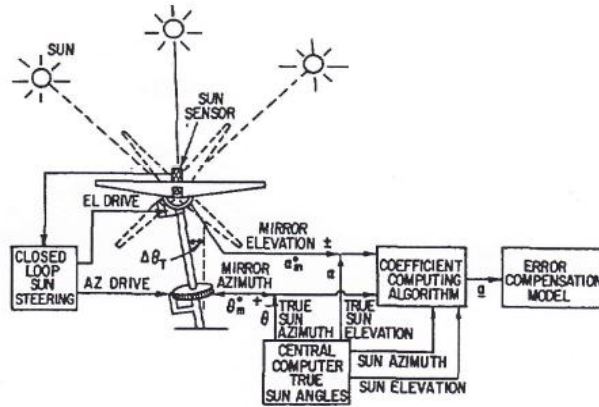
ศักดิ์สิทธิ์ บัวเงิน และ คณะ [8] เสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ได้ 2 แกน ซึ่งใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ โดยในการติดตามดวงอาทิตย์ระบบจะใช้ภาพดวงอาทิตย์ซึ่งรับมาจากกล้องดิจิทัลเว็บแคมและใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลภาพ ส่วนการควบคุมจะใช้การควบคุมแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro - controller)



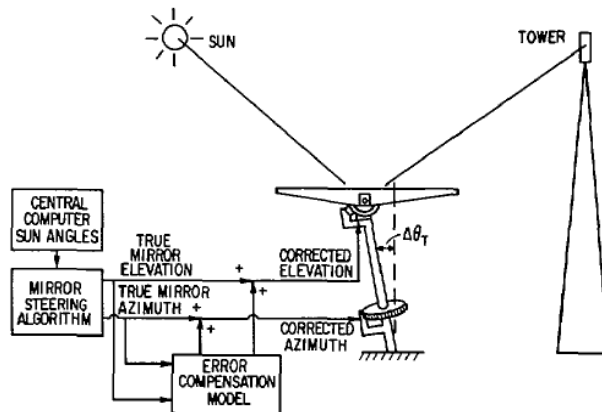
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม [8]

Baheti และ Scott [9] นำเสนอตัวควบคุมแบบปรับตั้งได้อัตโนมัติ (Self - calibrating) เพื่อใช้ในการลดความผิดพลาดของเสาสะท้อนแสงอาทิตย์ (Heliostat) จากการติดตั้งและการจับ โดยตัวควบคุมถูกออกแบบเป็น 2 โหมด โหมดแรกเรียกว่า โหมดปรับตั้ง (Calibration mode) โหมดนี้เสาสะท้อนแสงอาทิตย์จะถูกควบคุมด้วยระบบวงรอบเปิด (Open - loop system) และแบบจำลองของค่าความผิดพลาดของเสาสะท้อนแสงอาทิตย์ จากการติดตั้งและการจับจะถูกคำนวณหาเอกลักษณ์โดยใช้ อัลกอริทึม Least - squares เพื่อหาพารามิเตอร์ของโมเดล โหมดที่สองเรียกว่า โหมดติดตาม

(Track mode) โหมดนี้เสาสะท้อนแสงอาทิตย์จะถูกควบคุมด้วยระบบวงรอบเปิด (Open loop - system) โดยใช้พารามิเตอร์ของโมเดลที่ได้จากโหมดแรกมาชดเชยค่าความผิดพลาดของเสาสะท้อนแสงอาทิตย์

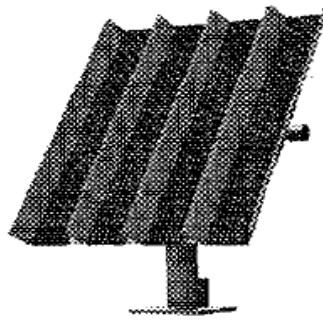


รูปที่ 2.4 โหมดปรับตั้ง [9]



รูปที่ 2.5 โหมดติดตาม [9]

Enrile และ คณะ [10] ได้ออกแบบตัวต้นแบบของเสาสะท้อนแสงอาทิตย์ (Heliostat) ที่เคลื่อนที่ได้ 2 แกนและสามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ได้เป็นสองเท่า โดยหมุนรอบแกนอิมมูธ ได้ 0 – 240 องศา และแกน อัลติจูด 0 – 90 องศา และมีความเที่ยงตรงที่ ± 1 องศา ส่วนการติดตามดวงอาทิตย์นั้นใช้พื้นฐานของสมการทางดาราศาสตร์ (Astronomical equations) และควบคุมด้วยวงรอบเปิด โดยใช้พีแอลซี (PLC) เป็นตัวควบคุม และใช้โมดูล CAN เน็ตเวิร์คของพีแอลซีเป็นตัวสื่อสารข้อมูลจากเสาสะท้อนแสงอาทิตย์หนึ่งไปยังอีกเสาสะท้อนแสงอาทิตย์หนึ่ง



รูปที่ 2.6 เสาสะท้อนแสงอาทิตย์ ที่เคลื่อนที่ได้ 2 แกน [10]

จากงานวิจัยระบบติดตามดวงอาทิตย์ [1] ถึง [3] จะเห็นว่าตัวควบคุมส่วนใหญ่สามารถควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้ แต่อย่างไรก็ตามระบบติดตามดวงอาทิตย์ส่วนใหญ่ไม่ได้ใช้วิธีติดตามดวงอาทิตย์แบบเวลาจริง (Real time) เพื่อให้เกิดความหลากหลายในระบบการควบคุม ผู้วิจัยจึงได้นำระบบภาพโดยใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมมาใช้ในการติดตามดวงอาทิตย์

งานวิจัย [4] ถึง [7] เป็นการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้วิธีติดตามดวงอาทิตย์แบบเวลาจริงและสามารถควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์ได้

งานวิจัยที่ [8] เป็นการติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้ภาพจากกล้องดิจิทัลเว็บแคมในการติดตามดวงอาทิตย์ แต่เนื่องจากกล้องดิจิทัลเว็บแคมมีความละเอียดที่ต่ำและมีการส่งข้อมูลที่ช้า ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงได้เลือกใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมซึ่งมีความละเอียดที่สูงและมีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลที่สูง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการใช้ข้อมูลภาพในการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์

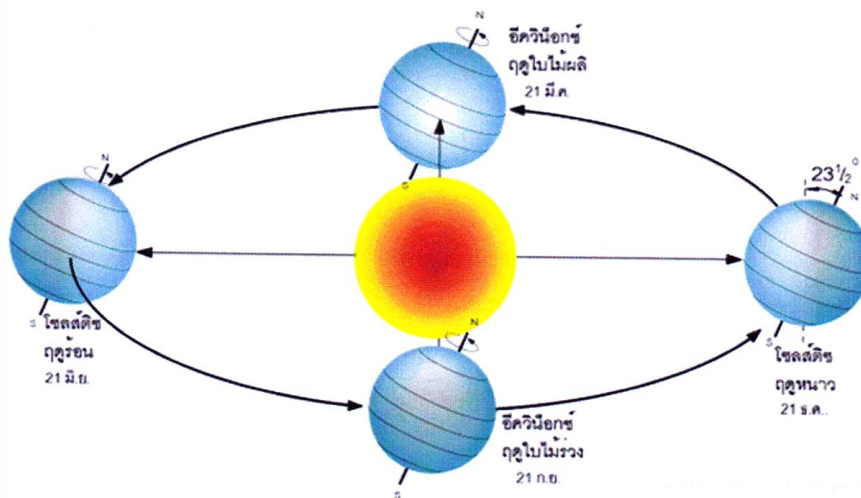
งานวิจัย [9] ถึง [10] เป็นการออกแบบตัวควบคุมสำหรับระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จะเห็นว่าตัวควบคุมดังกล่าวสามารถควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์การนำค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ได้จากระบบติดตามดวงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ มาออกแบบตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ระบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามวิธีติดตาม คือ ประเภทแรก ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบไม่ได้ใช้วิธีแบบเวลาจริง เช่น การคำนวณตำแหน่งดวงอาทิตย์จากสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งมีข้อจำกัดคือ เมื่อมุมแกนหมุนของโลกเปลี่ยนทำให้ระบบมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น ประเภทที่สอง ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบใช้วิธีแบบเวลาจริง เช่น การใช้กล้องดิจิทัลเว็บแคม ซึ่งมีข้อจำกัดคือ กล้องดิจิทัลเว็บแคมมีความละเอียดที่ต่ำและมีการส่งข้อมูลที่ช้า ทำให้ระบบมีความแม่นยำต่ำและมีการตอบสนองที่ไม่ดี ดังนั้นเพื่อลดข้อจำกัดจากงานวิจัย

ที่ผ่านมา งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบเวลาจริง โดยใช้กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรม ในการรับข้อมูลภาพ

2.2 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลก

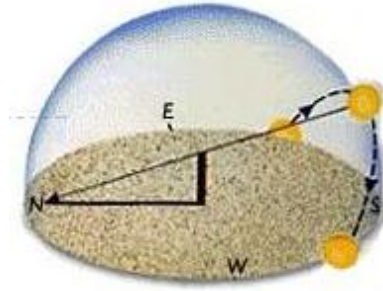
โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ในลักษณะที่เป็นวงรี แกนหมุนของโลกทำมุมเอียง 23.5 องศา กับระนาบการโคจรรอบดวงอาทิตย์ โดยแกนของโลกจะชี้ไปตำแหน่งเดิมตลอดเวลา



รูปที่ 2.7 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ [11]

ณ ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 กันยายน โลกจะเอียงด้านข้างให้กับดวงอาทิตย์ และแกนของโลกจะอยู่ในระนาบตั้งฉากกับรัศมีจากดวงอาทิตย์พอดี ทำให้แนวของแสงอาทิตย์จะอยู่บนระนาบของเส้นศูนย์สูตร ณ วันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกและตกทางทิศตะวันตกพอดี ซีกโลกด้านเหนือและซีกโลกด้านใต้จะได้รับแสงอาทิตย์เท่ากัน และช่วงเวลากลางวันและกลางคืนเท่ากัน เท่ากับ 12 ชั่วโมง เรียกตำแหน่งนี้ว่า สารทวิษุวัต (Autumnal equinox)

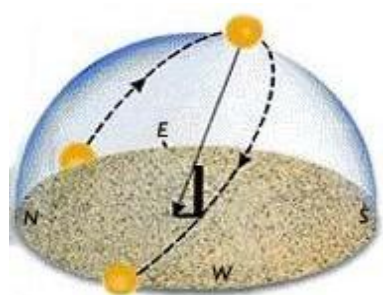
ณ ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 ธันวาคม โลกจะเอียงขั้วโลกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏอยู่ต่ำสุด เรียกตำแหน่งนี้ว่า วินเตอร์โซลสตีส (Winter solstice) ช่วงนี้ประเทศทางซีกโลกใต้จะเป็นฤดูร้อน มีเวลากลางวันนานกว่ากลางคืน ส่วนประเทศทางซีกโลกเหนือจะเป็นฤดูหนาว มีเวลากลางวันสั้นกว่ากลางคืน การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์จะค่อนข้างต่ำ เล็กน้อย ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ในวันที่ 21 ธันวาคม [12]

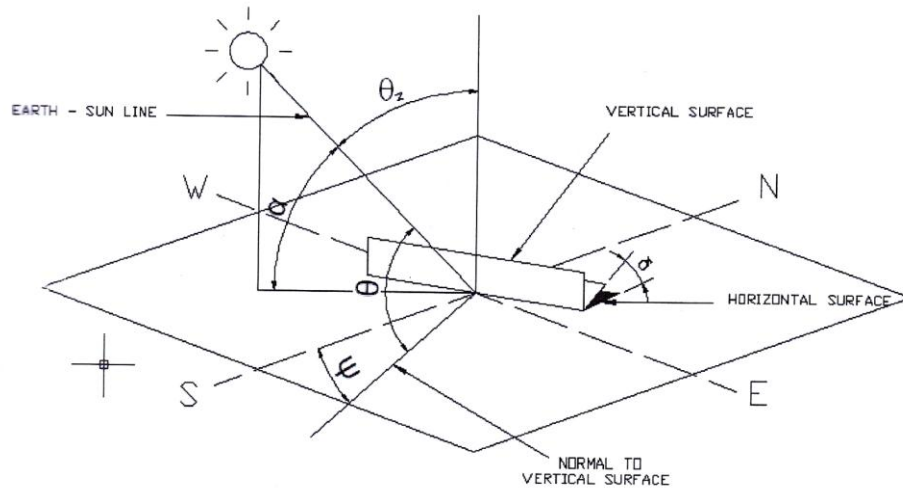
ณ ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 มีนาคม โลกจะเอียงด้านข้างให้กับดวงอาทิตย์ และแกนของโลกจะอยู่ในระนาบตั้งฉากกับรัศมีจากดวงอาทิตย์พอดี ทำให้แนวของแสงอาทิตย์จะอยู่บนระนาบของเส้นศูนย์สูตร ณ วันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกและตกทางทิศตะวันตกพอดี ซีกโลกด้านเหนือและซีกโลกด้านใต้จะได้รับแสงอาทิตย์เท่ากัน และช่วงเวลากลางวันและกลางคืนเท่ากัน เท่ากับ 12 ชั่วโมง เรียกตำแหน่งนี้ว่า วสันตวิษุวัต (Vernal equinox)

ณ ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 มิถุนายน โลกจะเอียงขั้วโลกเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์ ทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าอยู่สูงสุด คนที่อยู่บนเส้นละติจูดที่ 23.5 องศาเหนือจะเห็นดวงอาทิตย์อยู่ตรงศีรษะพอดีในตอนเที่ยงวัน เรียกตำแหน่งนี้ว่า ซัมเมอร์โซลสติส (Summer solstice) ช่วงนี้ประเทศทางซีกโลกใต้จะเป็นฤดูหนาว มีเวลากลางวันสั้นกว่ากลางคืน ส่วนประเทศที่อยู่ทางซีกโลกเหนือจะเป็นฤดูร้อน มีเวลากลางวันนานกว่ากลางคืน การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์จะค่อนข้างเอียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ในวันที่ 21 มิถุนายน [12]

ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นราบซึ่งวางในลักษณะใดๆ บนผิวโลกกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ เวลาใดๆ สามารถแบ่งออกได้เป็นมุมต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.10

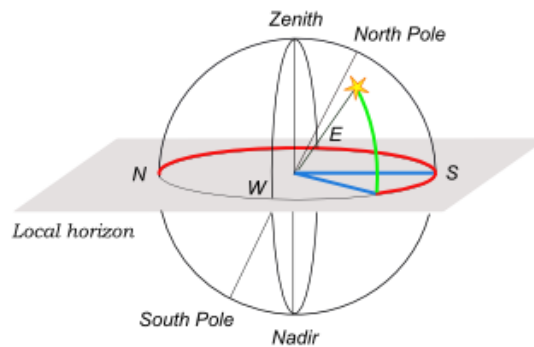


รูปที่ 2.10 มุมต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์กับพื้นผิวโลก [11]

เมื่อ

Ψ มุมอะซิมูท (Azimuth angle) คือ ระยะทางเชิงมุมที่เบนไปจากเส้นแนว เหนือ - ใต้ เริ่มต้นทิศเหนือ มุมอะซิมูทมีค่าเป็น 0 องศา (ถ้าเบนไปทางทิศตะวันออกเป็นบวก เบนไปทางทิศตะวันตกเป็นลบ) ดังนั้นที่ทิศตะวันออกมุมอะซิมูทจะมีค่าเท่ากับ 90 องศา และที่ทิศตะวันตกมุมอะซิมูทจะมีค่าเท่ากับ -90 องศา (ดังรูปที่ 2.11 เส้นสีแดง)

α มุมอัลติจูด (Altitude angle) หรือมุมเงย คือ ระยะทางเชิงมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับพื้นราบ โดยมุมอัลติจูดจะมีค่าเป็น 0 องศาที่เส้นขอบฟ้า เมื่อเงยขึ้นจากเส้นขอบฟ้าให้มุมอัลติจูดมีค่าเป็นบวก (ดังรูปที่ 2.11 เส้นสีเขียว) มีค่าเท่ากับ $90 - \theta_z$



รูปที่ 2.11 มุมอะซิมูทและมุมอัลติจูด [13]

δ มุมเดคลิเนชัน (Declination) คือ มุมระหว่างแนวเส้นแวงอาทิตย์ จะมีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ และมีค่าเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ มุมเดคลิเนชันมีค่าเปลี่ยนไปทุกวันระหว่าง 23.45 องศา ถึง - 23.45 องศา สามารถหาได้จากสมการ

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360(283 + n)}{365} \right] \quad (2.1)$$

เมื่อ n จำนวนวันในปีที่ต้องการ โดยถือว่า 1 มกราคม เป็นวันที่ 1 ของปี หรือ $n = 1$ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางวันที่ของรอบปี

วันที่/เดือน	วันที่ของรอบปี (n)
1 มกราคม	1
31 มกราคม	31
1 กุมภาพันธ์	32
28 กุมภาพันธ์	59
1 มีนาคม	60
31 มีนาคม	90
1 เมษายน	91
30 เมษายน	120
1 พฤษภาคม	121
31 พฤษภาคม	151
1 มิถุนายน	152
30 มิถุนายน	181
1 กรกฎาคม	182
31 กรกฎาคม	212
1 สิงหาคม	213
31 สิงหาคม	243
1 กันยายน	244
30 กันยายน	273
1 ตุลาคม	274

ตารางที่ 2.1 ตารางวันที่ของรอบปี (ต่อ)

วันที่/เดือน	วันที่ของรอบปี (n)
31 ตุลาคม	304
1 พฤศจิกายน	305
31 พฤศจิกายน	334
1 ธันวาคม	335
31 ธันวาคม	365

φ ตำแหน่งเส้นรุ้งหรือละติจูด คือ มุมที่อยู่ทางทิศเหนือหรือทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร เมื่อวัดไปทางทิศเหนือกำหนดให้มีค่าเป็นบวก และเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ ละติจูดมีค่าอยู่ระหว่าง -90 องศา ถึง 90 องศา

β มุมเอียงของพื้นราบ

ω มุมชั่วโมง (Hour angle) คือ มุมที่แทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากเมริเดียนท้องถิ่นไปทางตะวันออกหรือตะวันตก ตอนเที่ยงถือว่า ω เท่ากับศูนย์ และในแต่ละชั่วโมง ω เท่ากับ 15 องศา ในตอนเช้า ω จะมีค่าเป็นบวก ในตอนบ่าย ω จะมีค่าเป็นลบ

θ_z มุมซิมิท (Zenith angle) หรือมุมระหว่างลำแสงอาทิตย์กับเส้นตั้งฉากแนวราบ สามารถหาได้จากสมการ

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \quad (2.2)$$

θ มุมตกกระทบ (Incident angle) คือมุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์บนพื้นผิวกับแนวตั้งฉากของพื้นผิว ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมอื่นๆ สามารถคำนวณได้จาก

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \psi + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega \quad (2.3)$$

ในกรณีที่ระนาบของแผงรับแสงอาทิตย์มีมุมเอียง β และวางในแนวเหนือใต้ จะได้ว่า

$$\cos \theta_z = \cos(\varphi + \cos \delta \cos \omega) + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta \quad (2.4)$$

สำหรับเวลาที่พระอาทิตย์ขึ้น หาได้จากสมการ

$$\cos \omega_2 = -\tan \varphi \tan \delta \quad (2.5)$$

และค่าจำนวนชั่วโมงของระยะเวลาที่พระอาทิตย์ขึ้นและลงได้ดังนี้

$$\frac{T_d}{15} = 2 \cos^{-1}(\tan \varphi \tan \delta) \quad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.3 ค่าของมุมระหว่างเส้นตั้งฉากของแผงรับแสงและรังสีจากดวงอาทิตย์ เมื่อต้องการให้ค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบบนแผงรับแสงมีค่ามากที่สุด ต้องทำให้รังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบตั้งฉากกับแผงรับแสง หรือทำให้ค่ามุม θ มีค่าเป็นศูนย์ มุม θ เป็นฟังก์ชันของมุม δ, ψ, φ และ β ดังนั้นถ้าต้องการหาค่ามุมที่เหมาะสมของแผงรับแสงที่ทำให้รังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบตั้งฉากสามารถหาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ คือ

$$\frac{d(\cos \theta)}{d\beta} = 0 \quad (2.7)$$

นั่นคือ

$$\begin{aligned} \frac{d(\cos \theta)}{d\beta} = & -\sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \omega - \cos \delta \cos \varphi \cos \omega \sin \beta \\ & + \cos \delta \sin \psi \cos \omega \cos \beta + \cos \delta \sin \psi \sin \omega \cos \beta \end{aligned}$$

เมื่อจัดรูปใหม่จะได้

$$\tan \beta_{opt} = \frac{\cos \delta (\sin \varphi \cos \psi \cos \omega + \sin \psi \sin \omega) - \sin \delta \sin \varphi}{\sin \delta \cos \varphi \cos \omega + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega} \quad (2.8)$$

เมื่อ $\tan \beta_{opt}$ มุมที่เหมาะสมของแผงรับแสง (Optimal tilt angle)

2.3 เวลาท้องถิ่นและเวลาสุริยะ

เวลาท้องถิ่น (Local time) คือ เวลาจริง ณ ท้องถิ่นที่ตั้งของเมืองนั้นๆ ซึ่งมีผลต่างจากเวลานาฬิกามาตรฐานที่กำหนดไว้กับนานาประเทศ หรือเวลานาฬิกาของประเทศนั้นๆ โดยเวลาท้องถิ่นเทียบจากเวลามาตรฐานที่เมืองกรีนิชประเทศอังกฤษกับเส้นลองจิจูดมาตรฐานของพื้นที่นั้นจริงๆ

เวลาสุริยะ (Solar time) คือ เวลาที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า เวลาเที่ยงสุริยะ (Solar noon) หมายถึง เวลาที่ดวงอาทิตย์ข้ามเส้นเมริเดียนของตำแหน่งที่ตั้งเขต เวลาสุริยะ จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1. เวลาสุริยะปรากฏ นิยามว่า มุมชั่วโมง (Hour angle) ของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏจริงบนท้องฟ้า หรือเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งเมริเดียนของท้องฟ้าพอดี เวลาสุริยะปรากฏจะมีค่า 0 ชั่วโมง อุปกรณ์ที่ใช้ ในการบอกเวลาสุริยะปรากฏ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้แก่ นาฬิกาแดด (Sundial) ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสุริยะและเวลาท้องถิ่น ดังสมการที่ 2.9 2. เวลาสุริยะเฉลี่ยเป็นการกำหนดค่ามุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ย เมื่อตำแหน่งของดวงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่บนเมริเดียนพอดี ค่าเวลาสุริยะเฉลี่ยจะเป็น 0 ชั่วโมง และช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่บนเมริเดียน 2 ครั้งติดกัน หรือเท่ากับ 1 วันสุริยะเฉลี่ย (Mean solar day) ซึ่งวันดังกล่าวจะมีช่วงเวลาเท่ากัน

$$\text{Solar time} = \text{local time } (L_{st} - L_{loc}) + E \quad (2.9)$$

เมื่อ

E คือ สมการของเวลา (Equation of time) มีหน่วยเป็นนาที สามารถหาได้จาก

$$E = 229.2(0.000075 + 0.001868 \cos B - 0.032007 \sin B - 0.014615 \cos 2B - 0.04089 \sin 2B)$$

B คือ ความผิดปกติเฉลี่ยของดวงอาทิตย์ สามารถหาได้จาก

$$B = (n - 1) \times (360/365)$$

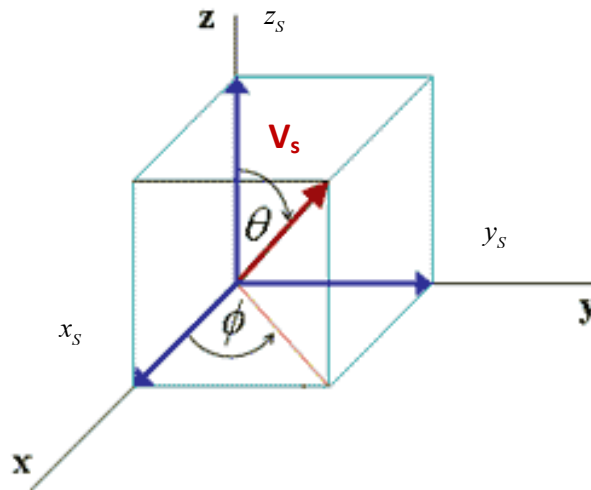
n คือ วันลำดับที่ ของปี ($1 \leq n \leq 365$)

L_{st} คือ เส้นลองจิจูดที่เวลาตามนาฬิกา เทียบจากสถานที่มาตรฐานในแต่ละประเทศ เช่น ประเทศไทย คือ 105 องศาตะวันออก

L_{loc} คือ เส้นลองจิจูดของสถานที่ที่ต้องการหาค่าเวลาสุริยะ

2.4 การหาเวกเตอร์ตำแหน่ง

ในการควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จำเป็นต้องหาเวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ (Sun - position vector) โดยอาศัยการแปลงมุมในการหมุนมอเตอร์ของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ให้เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ สามารถหาได้ดังนี้



รูปที่ 2.12 เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์

$$\mathbf{V}_s = x_s \mathbf{i} + y_s \mathbf{j} + z_s \mathbf{k} \quad (2.10)$$

$$|\mathbf{V}_s| = \sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2 + (z_s)^2} \quad (2.11)$$

เมื่อ

\mathbf{V}_s คือ เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์

$|\mathbf{V}_s|$ คือ ขนาดของเวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์

x_s คือ เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ ในแกน x สามารถหาได้จาก

$$x_s = \sin \theta \cos \phi \quad (2.12)$$

y_s คือ เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ ในแกน y สามารถหาได้จาก

$$y_s = \sin \theta \sin \phi \quad (2.13)$$

z_s คือ เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ ในแกน z สามารถหาได้จาก

$$z_s = \cos \theta \quad (2.14)$$

θ คือ มุมอัลติจูด

ϕ คือ มุมอซิมูท

จากสมการที่ (2.10) และ (2.11) สามารถหาเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit Vector) ได้ดังนี้

$$\mathbf{n}_s = \frac{\mathbf{v}_s}{|\mathbf{v}_s|} = n_{sx}\mathbf{i} + n_{sy}\mathbf{j} + n_{sz}\mathbf{k} \quad (2.15)$$

เมื่อ

n_{sx} คือ เวกเตอร์ตั้งฉาก (Normal vector) ของดวงอาทิตย์ในแกน x สามารถหาได้จาก

$$n_{sx} = \frac{x_s}{\sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2 + (z_s)^2}} \quad (2.16)$$

n_{sy} คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของดวงอาทิตย์ในแกน y สามารถหาได้จาก

$$n_{sy} = \frac{y_s}{\sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2 + (z_s)^2}} \quad (2.17)$$

n_{sz} คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของดวงอาทิตย์ในแกน z สามารถหาได้จาก

$$n_{sz} = \frac{z_s}{\sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2 + (z_s)^2}} \quad (2.18)$$

เวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมาย (Target position vector) คือ ตำแหน่งเป้าหมายบริเวณที่ต้องการให้แสงอาทิตย์สะท้อนไปตกบริเวณนั้น สามารถหาได้โดยการวัดโดยตรง จะได้ดังนี้

$$\mathbf{V}_T = x_T \mathbf{i} + y_T \mathbf{j} + z_T \mathbf{k} \quad (2.19)$$

$$|\mathbf{V}_T| = \sqrt{(x_T)^2 + (y_T)^2 + (z_T)^2} \quad (2.20)$$

เมื่อ

\mathbf{V}_T คือ เวกเตอร์ตำแหน่งเป้าหมาย

$|\mathbf{V}_T|$ คือ ขนาดของเวกเตอร์เป้าหมาย

x_T คือ เวกเตอร์ตำแหน่งเป้าหมายในแกน x

y_T คือ เวกเตอร์ตำแหน่งเป้าหมายในแกน y

z_T คือ เวกเตอร์ตำแหน่งเป้าหมายในแกน z

จากสมการที่ (2.19) และ (2.20) สามารถหาเวกเตอร์หนึ่งหน่วย ได้ดังนี้

$$\mathbf{n}_T = \frac{\mathbf{V}_T}{|\mathbf{V}_T|} = n_{Tx} \mathbf{i} + n_{Ty} \mathbf{j} + n_{Tz} \mathbf{k} \quad (2.21)$$

เมื่อ

n_{Tx} คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของเป้าหมายในแกน x สามารถหาได้จาก

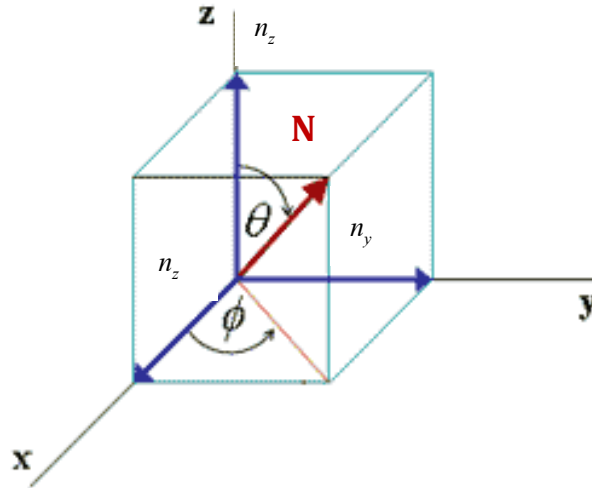
$$n_{Tx} = \frac{x_T}{\sqrt{(x_T)^2 + (y_T)^2 + (z_T)^2}} \quad (2.22)$$

n_{Ty} คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของเป้าหมายในแกน y สามารถหาได้จาก

$$n_{Ty} = \frac{y_T}{\sqrt{(x_T)^2 + (y_T)^2 + (z_T)^2}} \quad (2.23)$$

n_{Tz} คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของเป้าหมายในแกน z สามารถหาได้จาก

$$n_{Tz} = \frac{z_T}{\sqrt{(x_T)^2 + (y_T)^2 + (z_T)^2}} \quad (2.24)$$



รูปที่ 2.13 เวกเตอร์ตั้งฉากเป้าหมาย

การหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สามารถหาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์และเวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมาย โดยสามารถหาเวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ (\mathbf{N}) ได้ดังนี้

$$\mathbf{N} = \frac{\mathbf{n}_S + \mathbf{n}_T}{|\mathbf{n}_S + \mathbf{n}_T|} = n_x \mathbf{i} + n_y \mathbf{j} + n_z \mathbf{k} \quad (2.25)$$

เมื่อ

n_x คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ในแกน x สามารถหาได้จาก

$$n_x = \frac{(n_{Sx} + n_{Tx})}{\sqrt{(n_{Sx} + n_{Tx})^2 + (n_{Sy} + n_{Ty})^2 + (n_{Sz} + n_{Tz})^2}} \quad (2.26)$$

n_y คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ในแกน y สามารถหาได้จาก

$$n_y = \frac{(n_{Sy} + n_{Ty})}{\sqrt{(n_{Sx} + n_{Tx})^2 + (n_{Sy} + n_{Ty})^2 + (n_{Sz} + n_{Tz})^2}} \quad (2.27)$$

n_z คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ในแกน z สามารถหาได้จาก

$$n_z = \frac{(n_{Sz} + n_{Tz})}{\sqrt{(n_{Sx} + n_{Tx})^2 + (n_{Sy} + n_{Ty})^2 + (n_{Sz} + n_{Tz})^2}} \quad (2.28)$$

จากรูปที่ 2.13 จะสามารถหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ได้ดังนี้

$$\theta = \cos^{-1}(n_z) \quad (2.29)$$

$$\phi = \sin^{-1} \left[\frac{n_y}{\sqrt{(n_x)^2 + (n_y)^2}} \right] \quad (2.30)$$

เมื่อ

θ คือ มุมอัลติจูดในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

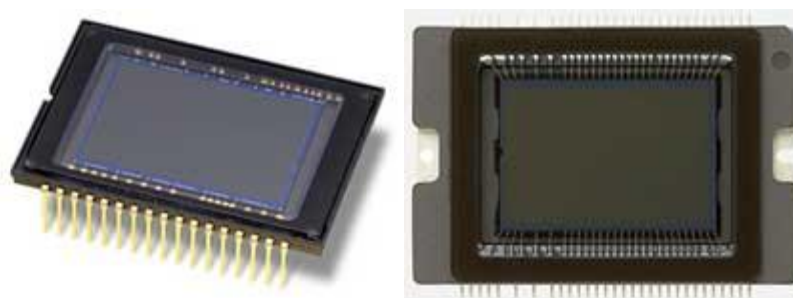
ϕ คือ มุมอซิมุทในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับกล้อง

กล้องดิจิทัล (Digital camera) คือ อุปกรณ์เก็บข้อมูลภาพผ่านเลนส์และเก็บข้อมูลที่ได้ในรูปแบบดิจิทัล การทำงานของกล้องดิจิทัล เมื่อแสงส่องกระทบวัตถุและสะท้อนมายังกล้อง เลนส์ของกล้องจะรวมแสงและส่งผ่านไปยังเซนเซอร์รับภาพ ซึ่งในตัวกล้องจะประกอบด้วยอุปกรณ์โฟโต้เซนเซอร์จำนวนนับล้านตัวโดยสามารถจะจับข้อมูลภาพที่เป็นจุดแสง ข้อมูลของแสงจะถูกอ่านทีละแถว ซึ่งสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณที่ได้มาจากแสงหรือสัญญาณความสว่าง ซึ่งสัญญาณความสว่างนี้ก็คือแสงสีขาวนั่นเอง สัญญาณภาพนั้นเกิดจากแสงสีขาวสะท้อนกับวัตถุเกิดเป็น

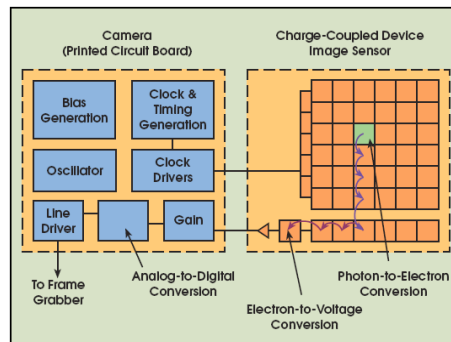
ภาพ สัญญาณความสว่างก็คือภาพขาวดำ เนื่องจากภาพขาวดำนั้นจะประกอบจากจุดสีต่างๆ ที่มีความสว่างมากน้อยต่างกัน จุดสีดำคือจุดที่มีความสว่างน้อย จุดสีขาวคือจุดที่มีความสว่างมาก เมื่อนำจุดที่ได้กล่าวนั้นมาต่อกันแล้วก็จะได้ภาพขาวดำออกมา สำหรับภาพสีนั้นต้องเข้าใจกับหลักการผสมสีก่อน การผสมสีนั้นจะมีทั้งการผสมสีทางลบและการผสมสีทางบวก การผสมสีทางลบ จะใช้ในการสร้างภาพสีที่ต้องใช้แสงสะท้อนตกระทบจึงจะเห็นเป็นสีที่เกิดจากแม่สีสามสีประกอบกัน คือ สีแดง สีเหลือง และสีน้ำเงิน สีทั้งสามสีนี้เมื่อผสมกันหมดจะได้สีดำและเมื่อลดความเข้มของสีลงก็จะเกิดเฉดสีมากมาย การผสมสีทางบวกนั้นไม่ต้องอาศัยแหล่งกำเนิดแสงจากภายนอก เนื่องจากสีต่างๆ นั้นจะต้องเกิดจากแสง โดยมีแม่สีหลักคือ แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน แสงทั้งสามนั้นหากผสมกันแล้วจะได้สีขาว หากแสงนี้มีค่าความสว่างต่ำสุดก็จะได้สีดำ ซึ่งเมื่อผสมกันในสัดส่วนความสว่างที่ต่างกันก็จะเกิดเฉดสีต่างๆ มากมายเช่นกัน การผสมสีและการหาค่าสีจากที่ได้กล่าวมาจากการผสมสีทางบวก เมื่อผสมกันแล้วจะได้แสงสีขาวออกมาซึ่งก็คือสัญญาณความสว่าง ในการใช้งานกล้องจะมีลักษณะการทำงานที่ให้ข้อมูลออกมาในหลายรูปแบบเช่น แบบ RGB นั่นคือให้สัญญาณข้อมูลในรูปค่าความสว่างของแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน แบบ YUV จะให้สัญญาณข้อมูลในรูปค่าความสว่างของแสงสีขาว ข้อมูลในรูปค่าความสว่างของสีน้ำเงินลบกับแสงสีขาวและข้อมูลในรูปค่าความสว่างของสีแดงลบกับแสงสีขาว แบบ YCbCr โดยจะให้สัญญาณข้อมูลในรูปค่าความสว่างของแสงสีขาว ข้อมูลในรูปค่าความสว่างของสีน้ำเงิน ข้อมูลในรูปค่าความสว่างของสีแดงเป็นต้น

อุปกรณ์รับสัญญาณภาพแบ่งออกเป็นสองประเภทหลัก คือ แบบอนาล็อก และแบบดิจิทัล ซึ่งทั้งสองชนิดนั้นมีหลักการทำงานมาจากโฟโตเซ็นเซอร์เช่นเดียวกัน แต่ต่างกันตรงที่ในระบบดิจิทัลจะต้องนำสัญญาณที่ได้ซึ่งเป็นอนาล็อกไปทำการแปลงสัญญาณเป็นข้อมูลในรูปแบบดิจิทัลเสียก่อน จึงจะนำไปใช้งานได้ ซึ่งโฟโตเซ็นเซอร์ที่นำมาประกอบเป็นตัวกล้องนั้นจะแบ่งออกเป็นสองประเภทหลักๆ ประเภทแรกคือ CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) และประเภทที่สองคือ CCD (Charge – Couply Device)

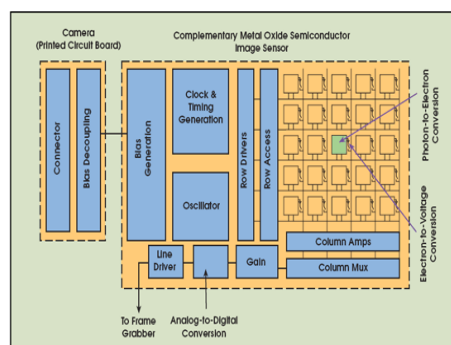


รูปที่ 2.14 CCD และ CMOS เซ็นเซอร์ [14]

CMOS และ CCD มีหลักการโดยอาศัยโฟโตไซด์ (Photosite) ให้เปลี่ยนแสงที่ตกกระทบให้กลายเป็นอิเล็กตรอนเพื่อบ่งบอกค่าของแสงสีนั้นๆ ภายในตัวเซนเซอร์ ทั้งสองชนิดนี้ประกอบไปด้วยโฟโตไซด์ขนาดเล็กๆ จำนวนมากเพื่อรับแสง ความแตกต่างระหว่าง CMOS และ CCD คือ ขั้นตอนของการคำนวณค่าของแสงนั้นๆ จากแต่ละโฟโตไซด์ CCD จะประจุนั้นๆ โดยตรงในแต่ละโฟโตไซด์ จากนั้นจะแปลงค่าอนุโลกของแสงที่ตกกระทบให้เป็นค่าดิจิทัลกระบวนการทั้งหมดนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่วน CMOS ถึงแม้ว่าแต่ละโฟโตไซด์จะสามารถประจุนั้นๆ ได้โดยตรงเช่นเดียวกัน แต่กระบวนการในการส่งผ่านข้อมูลจะต้องอาศัยสายขนาดเล็กมากๆ เพื่อที่จะส่งข้อมูล ทำให้เกิดความล่าช้าในการส่งข้อมูลมากกว่าแบบ CCD



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของ CCD เซนเซอร์ [14]



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของ CMOS เซนเซอร์ [14]

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของรูปที่ได้จากกล้องดิจิทัล

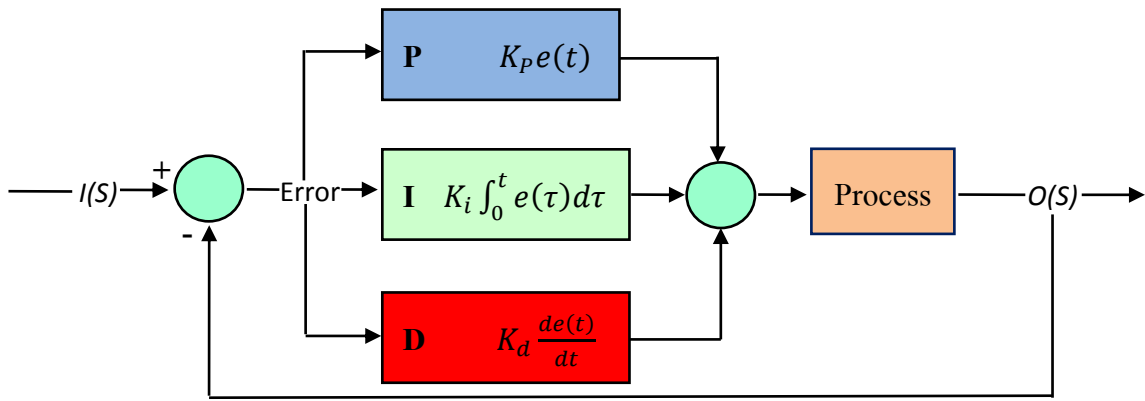
ก. Resolution คือ ส่วนที่เล็กที่สุดของวัตถุที่กล้องสามารถแยกได้ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

- Field of view (FOV) คือ บริเวณทั้งหมดที่กล้องสามารถถ่ายภาพได้

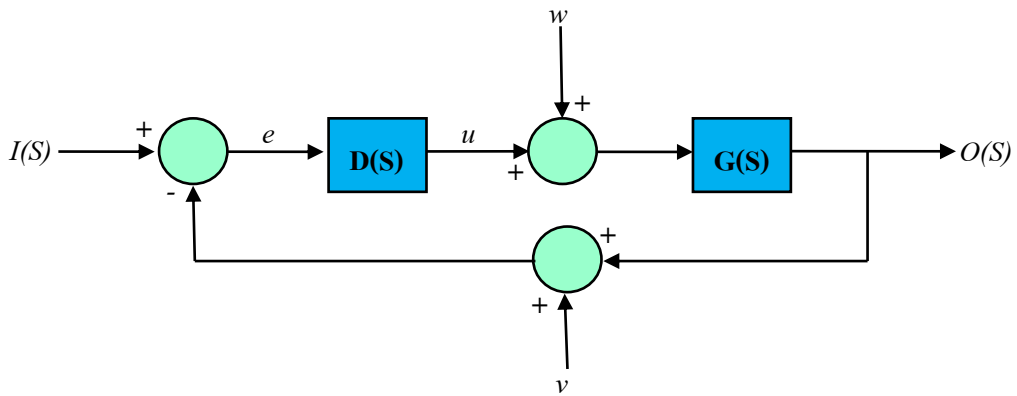
- Working distance (WD) คือ ระยะห่างระหว่างปลายสุดของเลนส์กับพื้นที่ผิวด้านบนของวัตถุ
- Sensor size คือ ขนาดของเซนเซอร์ของกล้อง
- Pixel (Pix) คือ จำนวนจุดของตัวรับแสงที่ประกอบขึ้นเป็นภาพ
- Pixel resolution คือ จำนวนที่น้อยที่สุดของพิกเซลที่กล้องต้องการในการนำมาสร้างรูป
- Focal length คือ เลนส์โฟกัส
- ข. Contrast คือ ความแตกต่างของระดับความเข้มของวัตถุกับพื้นหลัง ดังนั้นรูปภาพทุกรูปควรมีค่า Contrast ที่มากพอเพื่อจะแยกวัตถุออกจากพื้นหลัง
 - ก. Depth of field (DOF) คือ ความสามารถในการรักษาคุณภาพของรูปให้ชัดเจนเมื่อวัตถุมีการขยับออกจากจุดโฟกัสที่ดีที่สุด
 - ง. Perspective คือ แนวแกนของกล้องที่ไม่ได้ตั้งฉากกับวัตถุ ซึ่งจะส่งผลทำให้การเปลี่ยนแปลงกำลังขยายของวัตถุจะขึ้นอยู่กับระยะห่างจากเลนส์กับวัตถุ
 - จ. Distortion เกิดจากความผิดพลาดทางเรขาคณิตของส่วนที่จับภาพของเลนส์ ซึ่งเลนส์โดยทั่วไปจะเกิดการบิดรูปแบบโค้ง (Radial distortion) ซึ่งทำให้รูปภาพที่กล้องถ่ายได้อยู่ไกลกว่าความเป็นจริง

2.6 ตัวควบคุมพีไอดี (PID controller)

ระบบควบคุมพีไอดี คือการควบคุมสัดส่วนป้อนกลับ เป็นระบบการควบคุมรูปแบบหนึ่ง ซึ่งใช้การควบคุมในระบบวงปิด หรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Closed – loop control system, feedback control) เพื่อลดความผิดพลาดจากสัญญาณรบกวนได้ แต่ความผิดพลาดสถานะคงตัวก็ยังไม่หมด เมื่อเพิ่มสัดส่วนป้อนกลับการตอบสนองความเร็วจะมีโอเวอร์ชูตเพิ่มขึ้น การรวมการควบคุมสัดส่วนและการควบคุมปริพันธ์เข้าด้วยกันจะสามารถกำจัดความผิดพลาดสถานะคงตัวได้ แต่การตอบสนองการเคลื่อนที่จะไม่ดี ดังนั้น จึงต้องมีการควบคุมอนุพันธ์ เพื่อทำให้การตอบสนองของระบบดีขึ้น เมื่อรวมทั้งสามเทอมเข้าด้วยกันจะได้รูปแบบการควบคุมแบบพีไอดี (PID controller) ดังรูปที่ 2.17 และ 2.18



รูปที่ 2.17 การควบคุมแบบพีไอดี [15]



รูปที่ 2.18 การควบคุมแบบป้อนกลับ [16]

1. Proportional feedback control (P)

การควบคุมสัดส่วน คือ การควบคุมสัญญาณป้อนกลับที่เป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาดเพื่อลดความผิดพลาดของสัญญาณขาออก สามารถหาได้จาก

$$P = Ke \tag{2.31}$$

ดังนั้น จากการควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 2.18 จะได้ว่า

$$D(s) = K \tag{2.32}$$

เมื่อ

P คือ สัญญาณขาออก

K คือ ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function)

e คือ ค่าความผิดพลาด

2. Proportional – integral (PI) feedback control

การควบคุมปริพันธ์ (Integral) เพื่อลดหรือกำจัดความผิดพลาดสถานะคงตัว แต่จะทำให้การตอบสนองชั่วขณะแย่ง โดยการคูณด้วยอัตราขยายปริพันธ์ สามารถหาได้จาก

$$I(t) = \frac{K}{T_I} \int_{t_0}^t e \, dn \quad (2.33)$$

จากการควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 2.18 จะได้ว่า

$$\frac{U(s)}{E(s)} = D(s) = \frac{K}{T_I s} \quad (2.34)$$

เมื่อ

I(t) คือ สัญญาณขาออก

$\frac{K}{T_I}$ คือ อัตราขยายปริพันธ์

t คือ เวลา

e คือ ความผิดพลาด

d คือ ตัวแปรปริพันธ์

3. Derivative feedback control (D)

การควบคุมอนุพันธ์หรืออนุพันธ์ป้อนกลับ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด เพื่อลดโอเวอร์ชูตและลดเวลาสู่สมดุล สามารถหาได้จากสมการ

$$D(t) = K T_D e \quad (2.35)$$

จากการควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 2.18 จะได้ว่า

$$D(s) = KT_Ds \quad (2.36)$$

เมื่อ

$D(t)$ คือ สัญญาณขาออก

K คือ อัตราขยายอนุพันธ์

T_D คือ อนุพันธ์เวลา (Derivative time)

\dot{e} คือ อนุพันธ์อันดับหนึ่งของความผิดพลาด

4. Proportional – integral – derivative control (PID)

สำหรับการควบคุม ความผิดพลาดสถานะคงตัวและความผิดพลาดชั่วขณะ (Transient error) สามารถควบคุมโดยการรวมทั้งสามเทอมเข้าด้วยกัน คือ การควบคุมสัดส่วน การควบคุมปริพันธ์ และการควบคุมอนุพันธ์ ซึ่งเรียกว่า การควบคุมแบบพีไอดี สามารถหาได้จากสมการ

$$Output = P + I(t) + D(t) = Ke + \frac{K}{T_I} \int_{t_0}^t e \, dn + KT_D \dot{e} \quad (2.37)$$

จากการควบคุมแบบป้อนกลับในรูปที่ 2.18 จะได้ว่า

$$D(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right) \quad (2.38)$$

ตารางที่ 2.2 ผลตอบสนองของตัวแปร

ตัวแปร	ช่วงเวลาขึ้น (Rise time)	โอเวอร์ชูต (Overshoot)	เวลาสู่สมดุล (Settling time)	ความผิดพลาดสถานะคงตัว (Steady – state error)
K_p	ลด	เพิ่ม	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลด
K_i	ลด	เพิ่ม	เพิ่ม	ลด, กำจัด
K_d	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลด	ลด	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

บทที่ 3

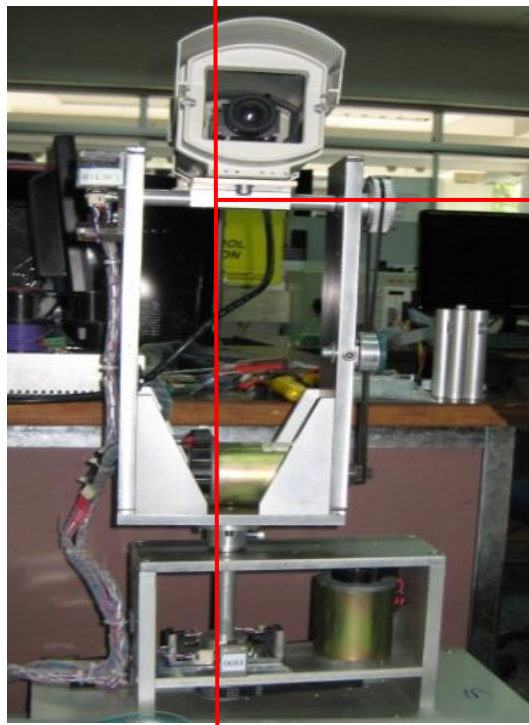
ขั้นตอนการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้การทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ โดยระบบติดตามดวงอาทิตย์ใช้วิธีการประมวลผลภาพดวงอาทิตย์ เพื่อหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์และนำค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ได้มาหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จากนั้นจะส่งค่ามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ได้ไปยังระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ผ่านทางอีเทอร์เน็ต (Ethernet) เพื่อควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

3.1 ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง ได้ออกแบบโครงสร้างให้มีแกนที่เคลื่อนที่ได้ 2 แกน (ดังรูปที่ 3.1) เพื่อให้สอดคล้องกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนโลกซึ่งจะมีมุมที่เกี่ยวข้อง 2 มุม คือ มุมซิมูธ และมุมอัลติจูด ตามลำดับ แกนหมุนที่ 1 จะใช้ซีซีเซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนโครงสร้างผ่านทางสายพานไทม์มิ่ง (Timing belt) อัตราทด 2:1 ระยะพิทช์ 2 mm. มีขอบเขตการเคลื่อนที่ 180 องศา โดยใช้ลิมิตสวิตช์เป็นตัวกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ ส่วนแกนที่หมุนที่ 2 จะใช้ซีซีเซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนโครงสร้างผ่านทางสายพานไทม์มิ่ง อัตราทด 3.33:1 ระยะพิทช์ 2 mm. มีขอบเขตการเคลื่อนที่ 200 องศา โดยใช้ลิมิตสวิตช์เป็นตัวกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ โดยบนเพลากลอนที่ 2 จะมีกล่องดิจิตอลอุตสาหกรรมติดตั้งอยู่ เพื่อที่ใช้เป็นตัวตรวจจับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้มีส่วนประกอบสำคัญคือ 1.กล่องดิจิตอลอุตสาหกรรม 2.ไดรฟ์และมอเตอร์ 3.ลิมิตสวิตช์ 4.คอมพิวเตอร์ โดยมีชุดการทดลองดังรูปที่ 3.2

แกนหมุนที่ 1



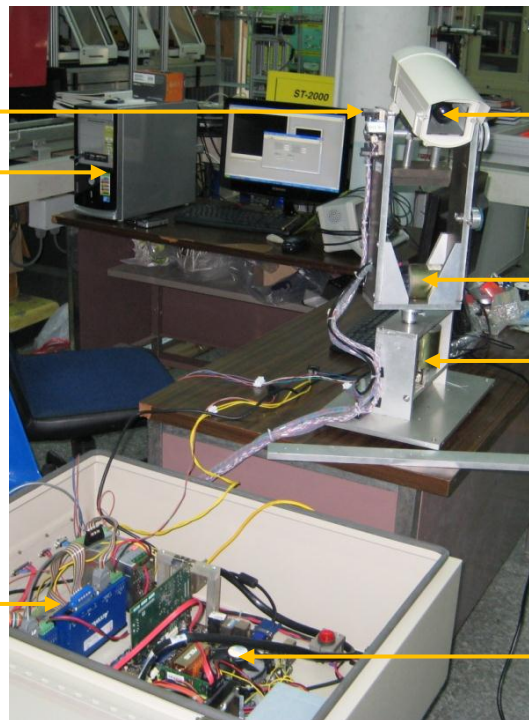
แกนหมุนที่ 2

รูปที่ 3.1 โครงสร้างระบบติดตามดวงอาทิตย์

Limit switch

Host computer

Drive motor



Digital camera

Motor& Encoder

Motor& Encoder

Sun tracking

target computer

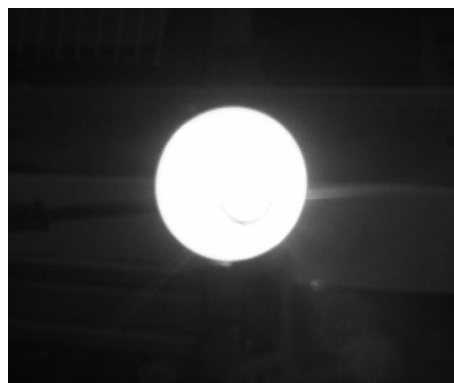
รูปที่ 3.2 ระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรม

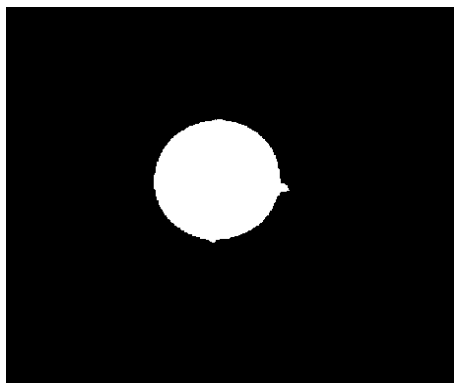
กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรม ผลิตโดย BASLER รุ่น scA1000 – 30 gm/gc (ดังรูปที่ 3.3) ใช้ในการรับภาพดวงอาทิตย์เพื่อหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยตัวกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมติดตั้งอยู่บนโครงสร้างที่สามารถหมุนได้ ดังรูปที่ 3.1 กำหนดกรอบรับภาพขนาด 1034 x 779 พิกเซล อัตราการเก็บภาพ 30 fps. รับข้อมูลภาพเป็นภาพขาวเทา (Gray scale) ดังรูปที่ 3.4 จากนั้นจะทำการแปลงข้อมูลภาพที่ได้ให้เป็นภาพสีขาวยกกับดำโดยกระบวนการเทรชโฮลด์ (Threshold) เพื่อแยกภาพดวงอาทิตย์ออกจากสิ่งแวดล้อม ดังรูปที่ 3.5 กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมนี้จะเชื่อมต่อกับการ์ดเก็บข้อมูลภายในคอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลภาพที่ได้ไปประมวลผลและหาตำแหน่งกึ่งกลางของรูปภาพ ซึ่งตำแหน่งกึ่งกลางของรูปภาพมีหน่วยเป็นพิกเซล (Pixel)



รูปที่ 3.3 กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรม [17]



รูปที่ 3.4 ข้อมูลภาพขาวเทา



รูปที่ 3.5 ข้อมูลภาพสีขาวกับดำ

3.1.2 ไดรฟ์และมอเตอร์

มอเตอร์ไดรฟ์ผลิตโดย Copley controls corp. รุ่น ASP – 090 – 09 ใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ โดยจะรับสัญญาณการควบคุมมาจากคอมพิวเตอร์ และมอเตอร์ไดรฟ์จะควบคุมการจ่ายสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์ พร้อมทั้งรับสัญญาณเอ็นโคเดอร์ที่ต่อกับตัวมอเตอร์และสัญญาณดิจิทัลจากลิมิตสวิทช์ จากนั้นส่งสัญญาณเอ็นโคเดอร์ที่ได้เข้าสู่คอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 มอเตอร์ไดรฟ์

ในการทดลองจะใช้มอเตอร์แบบ ดีซีเซอร์โวมอเตอร์ (DC Servo motor) 24 โวลต์ ผลิตโดย Yaskawa electric corporation รุ่น Minertia motor F series UGFMED – 03SRT21 ใช้ขับเคลื่อน โครงสร้างผ่านทาง Timing belt โดยในแกนหมุนที่ 1 ใช้อัตราทด 2:1 ระยะพิทช์ 2 mm. ส่วนแกนหมุน ที่ 2 ใช้อัตราทด 3.33:1 ระยะพิทช์ 2 mm. โดยมีเอ็นโคเดอร์ต่อกับมอเตอร์เพื่อใช้ในการวัดตำแหน่งการ หมุนของมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.7



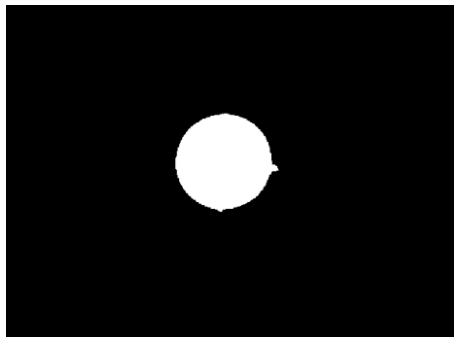
รูปที่ 3.7 มอเตอร์

3.2 การประมวลผลภาพ

ในการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ เริ่มต้นระบบรับภาพดวงอาทิตย์มาจากกล้องดิจิทัล อุตสาหกรรมซึ่งภาพที่ได้จะเป็นภาพสี จากนั้นนำภาพสีที่ได้มาเปลี่ยนให้เป็นภาพขาว - ดำ แล้วแยก ภาพขาว - ดำ ที่ได้ให้สีขาวเป็นสีของวัตถุที่ต้องการและสีดำเป็นสีของพื้นหลัง โดยที่ภาพที่ได้จาก กล้องจะเป็นภาพเคลื่อนไหวที่มีขนาด 24 fps ต่อไปจะนำข้อมูลภาพที่ได้มาแปลงและจัดเก็บอยู่ใน รูปแบบของข้อมูลอาร์เรย์ (Array) เพื่อใช้ในการหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

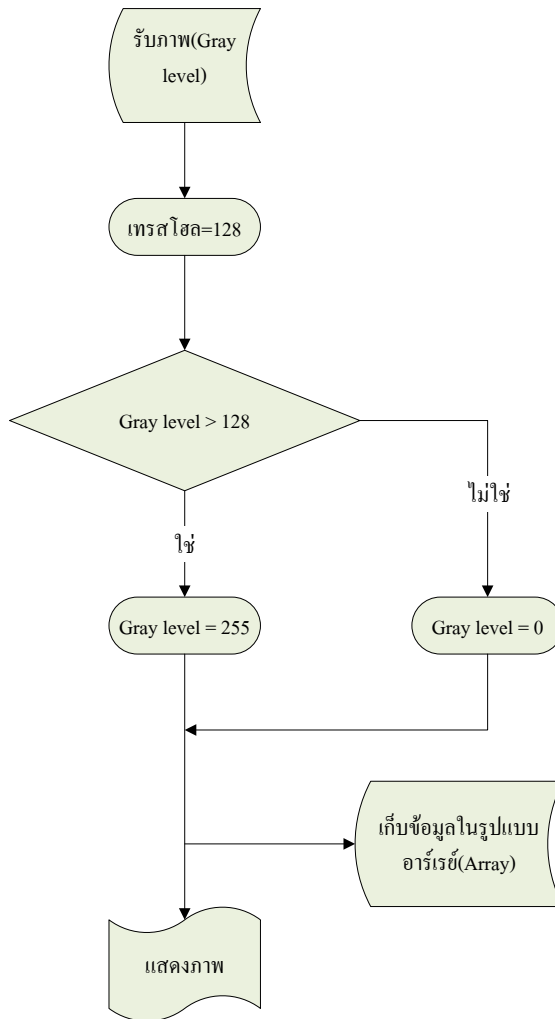
3.2.1 การทำไบนารีไรซ์ (Binarization)

การทำไบนารีไรซ์ เป็นการนำค่าสีในระดับภาพสีเทา (Gray level) ที่ได้จากกล้องดิจิทัลของอุตสาหกรรมของพิกเซลทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับค่าเทรชโฮลด์ที่ตั้งไว้และเก็บค่าพิกเซลใหม่ทุกพิกเซล ซึ่งการทดลองนี้จะตั้งค่าเทรชโฮลด์ อยู่ที่ 128 คือ ถ้าค่าสีในระดับภาพสีเทา มีค่าระหว่าง 0 - 127 จะได้ค่าสีในระดับภาพสีเทา ใหม่เป็น 0 และถ้าค่าสีในระดับภาพสีเทา มีค่าระหว่าง 128 - 255 จะได้ค่าสีในระดับภาพสีเทา ใหม่เป็น 255 ดังนั้นเมื่อทำไบนารีไรซ์แล้วค่าสีในระดับภาพสีเทา ที่ได้จะมีค่าเป็น 0 หรือ 255 เท่านั้น ดังรูปที่ 3.8 และ 3.9



```
00000000000000000000000000000000
00000000000000025525500000000000
00000000000025525525525500000000
00000000000025525525525500000000
00000000000000255255000000000000
00000000000000000000000000000000
```

รูปที่ 3.8 ภาพที่ผ่านการไบนารีไรซ์



รูปที่ 3.9 แผนผังการทำไปนาไรซ์

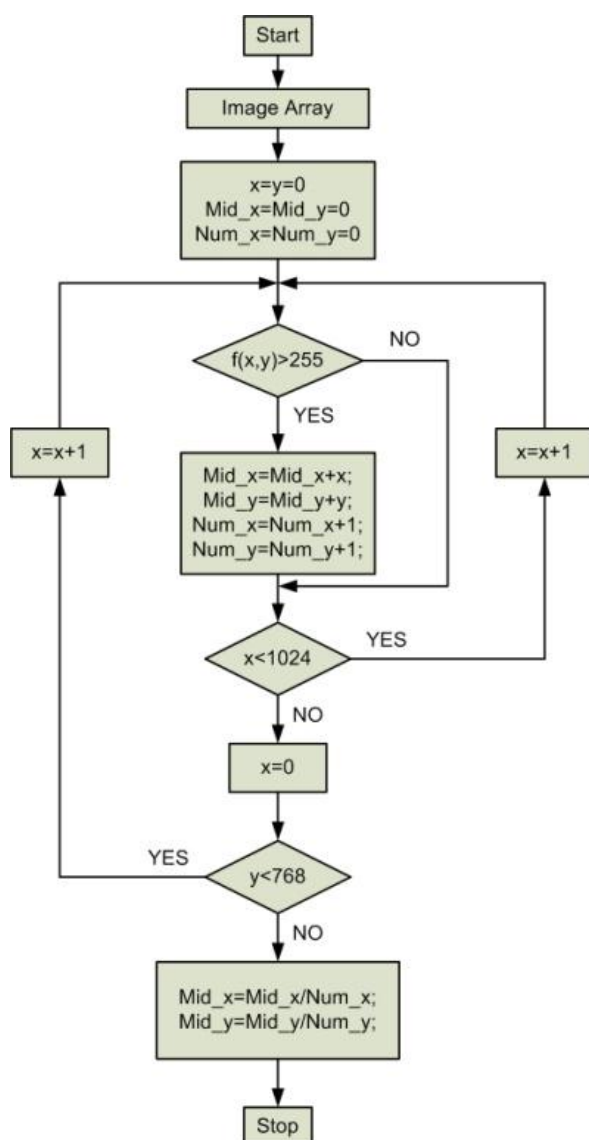
3.2.2 การเก็บข้อมูลในรูปอาร์เรย์ (Array)

การเก็บข้อมูลในรูปของอาร์เรย์ คือการเก็บข้อมูลในลักษณะเมตริก (Matrix) โดยแต่ละพิกเซลจะใช้ (x, y) ในการระบุตำแหน่ง ขนาดของเมตริกจะขึ้นอยู่กับจำนวนพิกเซลของกล้อง เช่น ในการทดลองใช้กล้องที่มีพิกเซล 1024×768 ดังนั้นจะได้ขนาดของเมตริกดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$f(x,y) = \left[\begin{array}{ccc} (0,0) & \dots & 0,1023 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 767 & \dots & 767,1023 \end{array} \right] \quad (3.1)$$

3.2.3 การหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

ในการหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์จะเริ่มจากการตรวจสอบข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในอาร์เรย์ โดยจะทำการตรวจสอบพิกเซลทีละแถว โดยเริ่มในแกน x ไปจนหมดแถวแล้วค่อยเริ่มแถว y ถัดไป ถ้าข้อมูลในพิกเซลใดมีค่าสีในระดับภาพสีเทาเป็น 255 ให้นำค่า x โดยจะเริ่มทำตั้งแต่พิกเซลที่ 0 - 1023 และทำเช่นเดียวกันในแนว y โดยจะเริ่มทำตั้งแต่พิกเซลที่ 0 - 767 เมื่อทำการนับจำนวนพิกเซลที่เป็นสีขาว (255) ในภาพแล้วก็จะทำการหาค่าเฉลี่ยของภาพออกมาเป็นพิกัดพิกเซลแล้วจะได้พิกัด (x, y) ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.10



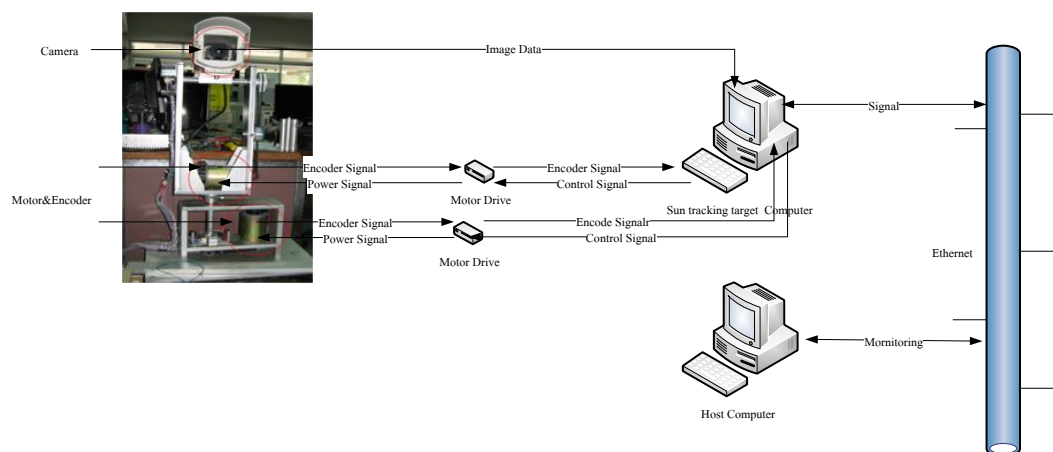
รูปที่ 3.10 แผนผังการหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

3.3 การควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์

การควบคุมการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ใช้คอมพิวเตอร์จำนวน 2 เครื่อง โดยคอมพิวเตอร์เครื่องแรกเรียกว่า คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์ (Sun tracking target - computer) ทำหน้าที่นำข้อมูลภาพดวงอาทิตย์ที่ได้จากกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมมาประมวลผลทางภาพ เพื่อหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ที่อยู่ในภาพ โดยข้อมูลที่ได้รับมาจากกล้องนั้นมีขนาด 1024 x 768 พิกเซล และมีความเร็วในการเก็บข้อมูล 24 fps ซึ่งขั้นตอนในการประมวลผลภาพเพื่อที่จะหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2 จากนั้นจะนำค่าเอ็นโคเดอร์ซึ่งวัดตำแหน่งในการหมุนของมอเตอร์ มาหาเวกเตอร์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Sun position vector) และหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ (Azimuth & Altitude angle) หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์จะควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบติดตามดวงอาทิตย์หรือควบคุมการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองตัวให้ขับโครงสร้างของระบบและทำให้จุดกึ่งกลางของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการประมวลผลภาพอยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ คือ $x = 512$ และ $y = 384$ สำหรับอัลกอริทึม (Algorithm) ในการควบคุมนั้นได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์ จะมีโปรแกรมที่ถูกพัฒนาโดยคอมพิวเตอร์อีกตัวที่เรียกว่า คอมพิวเตอร์หลัก (Host computer) เป็นตัวสั่งการทำงานผ่านทางอีเทอร์เน็ต โดยที่โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW เป็นเครื่องมือในการพัฒนา สำหรับคอมพิวเตอร์หลักโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำงานบน MS Windows XP ส่วนคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์จะใช้ระบบปฏิบัติการเวลาจริง (Real - time operating system) ของซอฟต์แวร์ LabVIEW ที่เรียกว่า Real - time target OS.

3.4 ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

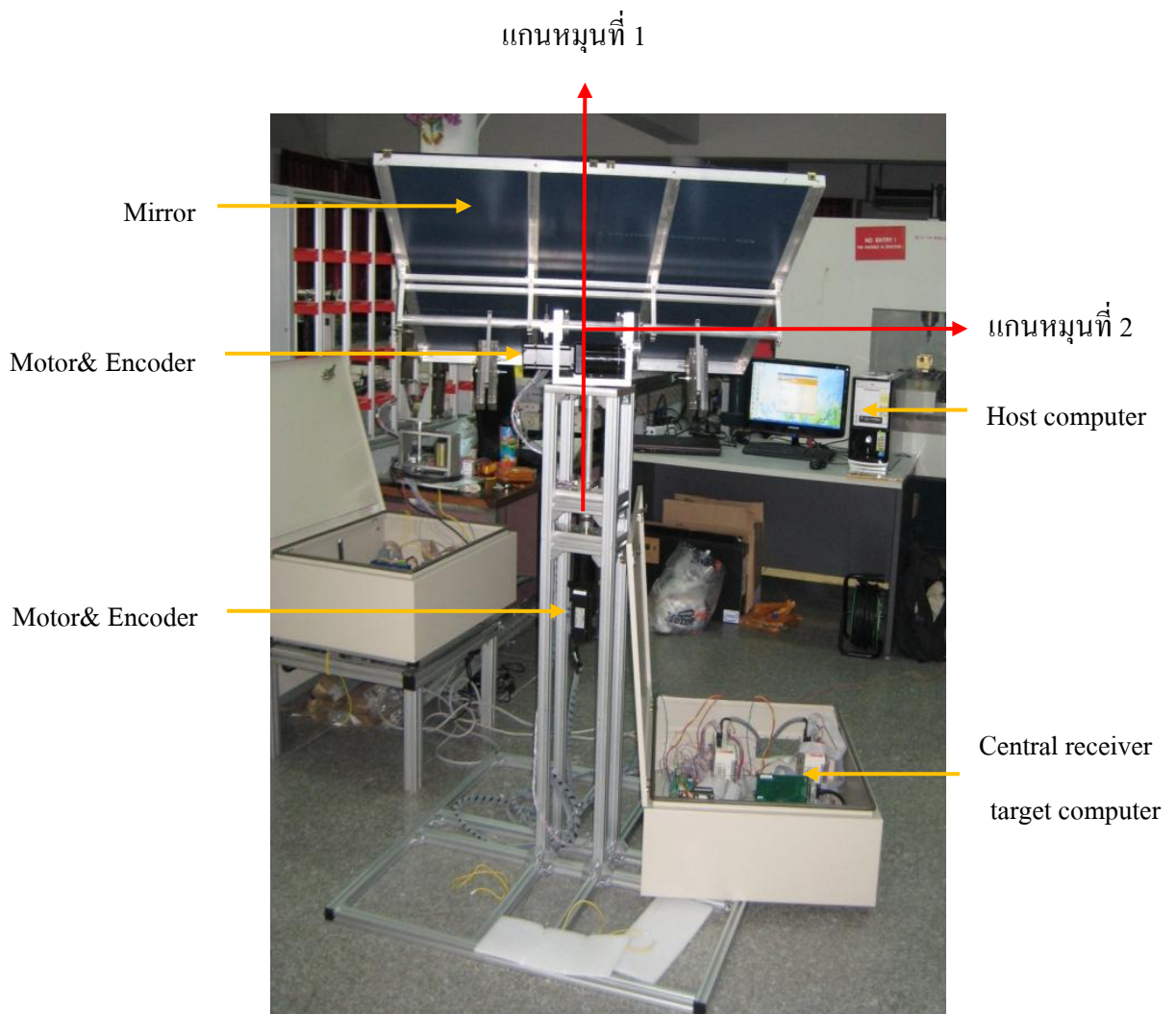
ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง เริ่มต้นเมื่อกำลังดิจิทัลอุตสาหกรรมรับข้อมูลภาพดวงอาทิตย์และส่งข้อมูลภาพ (Image data) สู่ Tracking target - computer เพื่อประมวลผลภาพดวงอาทิตย์และหาตำแหน่งกึ่งกลางของดวงอาทิตย์ หลังจากนั้น Tracking target computer จะส่งสัญญาณการควบคุม (Control signal) สู่มอเตอร์ไดรฟ์เพื่อควบคุมการจ่ายสัญญาณกำลัง (Power signal) ให้กับมอเตอร์เพื่อเลี้ยงให้ตำแหน่งกึ่งกลางภาพดวงอาทิตย์ที่ได้อยู่ที่ตำแหน่ง $x = 512$ และ $y = 384$ โดยในการเขียน โปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานจะเขียนที่คอมพิวเตอร์หลัก และส่งสัญญาณผ่านอีเทอร์เน็ต (Ethernet) ไปยังคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยที่ตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์จะถูกวัดโดยเอ็นโคเดอร์ ซึ่งติดตั้งอยู่ที่มอเตอร์ เพื่อนำค่าตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ที่ได้มาหาเวกเตอร์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

3.5 ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง ได้ออกแบบโครงสร้างให้มีแกนที่เคลื่อนที่ได้ 2 แกน (ดังรูปที่ 3.12) โดยแกนหมุนที่ 1 จะใช้ซีเซอร์โวมอเตอร์ในการขับเคลื่อนโครงสร้างผ่านทางคัปปลิ่ง (Coupling) มีขอบเขตการเคลื่อนที่ 180 องศา โดยใช้ลิimitsวิตช์เป็นตัวกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ ส่วนแกนหมุนที่ 2 จะใช้ซีเซอร์โวมอเตอร์ในการขับเคลื่อนโครงสร้างผ่านทางสายพาน ไทม์มิ่ง อัตราทด 1.33:1 ระยะพิทช์ 2 mm. มีขอบเขตการเคลื่อนที่ 180 องศา โดยใช้ลิimitsวิตช์เป็นตัวกำหนดขอบเขตการเคลื่อนที่ ซึ่งบนเพลลาแกนหมุนที่ 2 นี้จะติดตั้งแผ่นกระจกไว้วาด้านบนเพื่อเป็นตัวสะท้อนแสงอาทิตย์โดยระบบสะท้อนแสงอาทิตย์นี้มีส่วนประกอบสำคัญ คือ 1. ไดรฟ์และมอเตอร์ 2. แผ่นกระจก 3. คอมพิวเตอร์ โดยมีชุดการทดลองดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

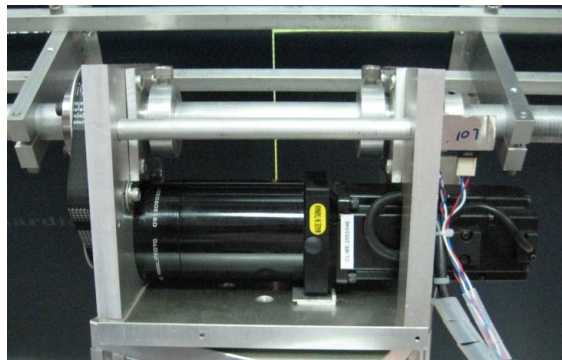
3.5.1 ไดรฟ์และมอเตอร์

มอเตอร์ไดรฟ์ผลิตโดย Schneider electric รุ่น LXM23CU04M3X ใช้เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ โดยมอเตอร์ไดรฟ์จะรับสัญญาณการควบคุมมาจากคอมพิวเตอร์ และมอเตอร์ไดรฟ์จะควบคุมการจ่ายสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์ พร้อมทั้งรับสัญญาณเอ็นโคเดอร์ที่ต่อกับตัวมอเตอร์และสัญญาณดิจิทัลจากลิมิตสวิทช์ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 มอเตอร์ไดรฟ์

ในการทดลองใช้มอเตอร์แบบ เอซีเซอร์โวมอเตอร์ (AC Servo motor) 220 โวลต์ ผลิตโดย Schneider electric รุ่น Lexium 23 C BCH0602011A1C และต่อเข้ากับเกียร์เฮด (Gear head) อัตราทด 15:1 เพื่อขับเคลื่อนโครงสร้าง โดยแกนหมุนที่ 1 ใช้คัปปลิ่งเป็นตัวส่งกำลัง ส่วนแกนหมุนที่ 2 ใช้สายพานไทม์มิ่ง อัตราทด 1.33:1 ระยะพิทช์ 5 mm. เป็นตัวส่งกำลัง โดยมีเอ็นโคเดอร์เพื่อวัดตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.14



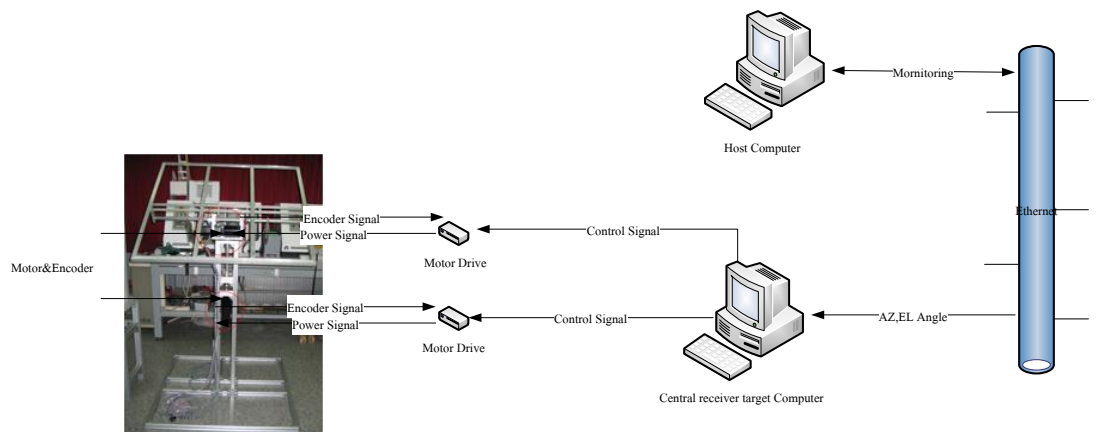
รูปที่ 3.14 มอเตอร์

3.6 การควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

การควบคุมการทำงานของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ใช้คอมพิวเตอร์จำนวน 2 เครื่อง โดยคอมพิวเตอร์เครื่องแรกเรียกว่า คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ (Central receiver - target computer) ทำหน้าที่รับข้อมูลมุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์จากอินเทอร์เน็ต และคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์จะควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ หรือควบคุมการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองตัวให้ขับโครงสร้างของระบบ เพื่อให้แสงอาทิตย์ที่สะท้อนจากกระจกอยู่ ณ ตำแหน่ง $V_T = x - 15.8 \text{ m.}, y = 12 \text{ m.}$ และ $z = 3.2 \text{ m.}$ ซึ่งเป็นตำแหน่งเป้าหมายของการทดลอง สำหรับอัลกอริทึมในการควบคุมนั้นได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จะมีโปรแกรมที่ถูกพัฒนาโดยคอมพิวเตอร์อีกตัวที่เรียกว่า คอมพิวเตอร์หลัก เป็นตัวส่งการทำงานผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ได้ใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW เป็นเครื่องมือในการพัฒนา สำหรับคอมพิวเตอร์หลักโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำงานบน MS Windows XP ส่วนคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์จะใช้ระบบปฏิบัติการเวลาจริง (Real - time operating system) ของซอฟต์แวร์ LabVIEW ที่เรียกว่า Real - time target OS.

3.7 ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง เริ่มต้นเมื่อคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ รับข้อมูลมุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จากคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์ผ่านอินเทอร์เน็ต จากนั้นคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จะส่งสัญญาณการควบคุมสู่มอเตอร์ไดรฟ์ เพื่อควบคุมการจ่ายสัญญาณกำลังให้กับมอเตอร์เพื่อควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้ได้ตามข้อมูลที่ส่งมา โดยที่ตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์จะถูกวัดโดยเอ็นโคเดอร์ ซึ่งติดตั้งอยู่ที่มอเตอร์ และส่งข้อมูลตำแหน่งของมอเตอร์สู่มอเตอร์ไดรฟ์ เพื่อประมวลผลต่อไป ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ระบบสัญญาณการควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

3.8 ระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

ระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง เป็นการนำเอาระบบการติดตามดวงอาทิตย์ที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.1 มาทำการหาเวกเตอร์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ หลังจากนั้นส่งข้อมูลดังกล่าวเพื่อควบคุมการทำงานของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์โดยจะมีโครงสร้าง ดังรูปที่ 3.16



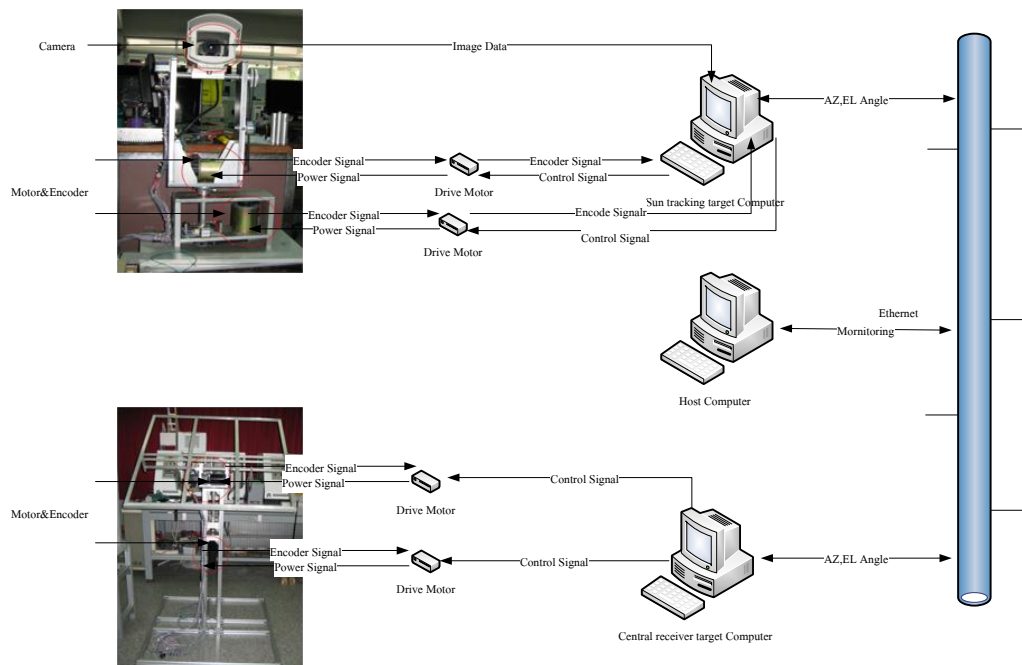
รูปที่ 3.16 ระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

3.9 การควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

การควบคุมการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ใช้คอมพิวเตอร์จำนวน 3 เครื่อง โดยคอมพิวเตอร์เครื่องแรกเรียกว่า คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์ ทำหน้าที่นำข้อมูลภาพดวงอาทิตย์ที่ได้จากกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมมาประมวลผลทางภาพเพื่อหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ที่อยู่ในภาพ โดยข้อมูลที่รับมาจากกล้องนั้นมีขนาด 1024 x 768 พิกเซล และมีความเร็วในการเก็บข้อมูล 24 fps ซึ่งขั้นตอนในการประมวลผลภาพเพื่อหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2 จากนั้นจะนำค่าเอ็นโคเดอร์ซึ่งวัดตำแหน่งในการหมุนของมอเตอร์มาหาเวกเตอร์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และนำเวกเตอร์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์มาหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ พร้อมทั้งส่งค่ามุมดังกล่าวผ่านทางอินเทอร์เน็ตไปสู่ คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์จะควบคุมการเคลื่อนที่ของระบบติดตามดวงอาทิตย์ หรือควบคุมการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองตัวให้จับโครงสร้างของระบบและทำให้จุดกึ่งกลางของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการประมวลผลภาพอยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ คือ $x = 512$ และ $y = 384$ คอมพิวเตอร์เครื่องที่สองเรียกว่า คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สำหรับอัลกอริทึม ในการควบคุมนั้นได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์จะมีโปรแกรมที่ถูกพัฒนาโดยคอมพิวเตอร์อีกตัวที่เรียกว่า คอมพิวเตอร์หลักเป็นตัวสั่งการทำงาน ผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้ได้ใช้ซอฟต์แวร์ LabVIEW เป็นเครื่องมือในการพัฒนา สำหรับคอมพิวเตอร์หลักโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะทำงานบน MS Windows XP ส่วนคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์และคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จะใช้ระบบปฏิบัติการเวลาจริง (Real - time operating system) ของซอฟต์แวร์ LabVIEW ที่เรียกว่า Real - time target OS.

3.10 ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

ระบบสัญญาณการควบคุมของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ เริ่มต้นเมื่อกำลังดิจิทัลอุตสาหกรรมรับข้อมูลภาพดวงอาทิตย์ และส่งข้อมูลภาพสู่คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์ เพื่อประมวลผลภาพดวงอาทิตย์และหาตำแหน่งกึ่งกลางของดวงอาทิตย์ หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์จะส่งสัญญาณการควบคุม สุ่มอเตอร์ไครว์เพื่อควบคุมการจ่ายสัญญาณกำลังให้กับมอเตอร์ เพื่อเลี้ยงให้ตำแหน่งกึ่งกลางภาพดวงอาทิตย์ที่ได้อยู่ที่ตำแหน่ง $x = 512$ และ $y = 384$ โดยที่ตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์จะถูกวัดโดยเอ็นโคเดอร์ ซึ่งติดตั้งอยู่ที่มอเตอร์ และคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์ จะนำค่าตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ที่ได้มาหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ และส่งสัญญาณค่ามุมดังกล่าวไปยังคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ผ่านทางอีเทอร์เน็ต เมื่อคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์รับสัญญาณค่ามุมแล้ว จะส่งสัญญาณการควบคุมสุ่มอเตอร์ไครว์ เพื่อควบคุมการจ่ายสัญญาณกำลังให้กับมอเตอร์หรือควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้ได้ตามข้อมูลที่ส่งมา โดยที่ตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์จะถูกวัดโดยเอ็นโคเดอร์ซึ่งติดตั้งอยู่ที่มอเตอร์ และส่งข้อมูลตำแหน่งของมอเตอร์สุ่มอเตอร์ไครว์เพื่อประมวลผลต่อไป ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ระบบสัญญาณการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

บทที่ 4

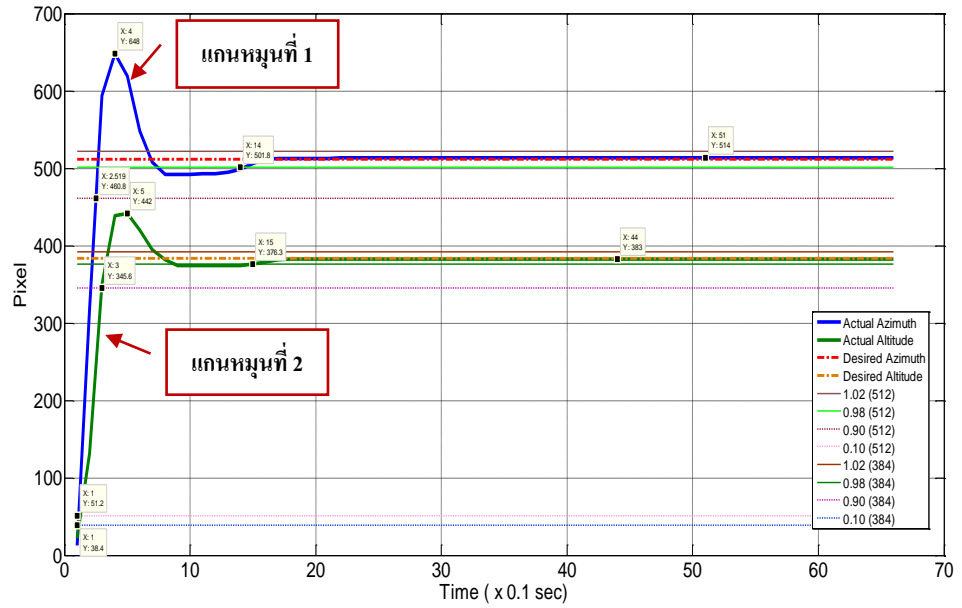
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลอง การทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วนคือ ในส่วนแรกจะทำการทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ เพื่อศึกษาผลตอบสนองของระบบและทดสอบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้นมาสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงหรือไม่ ส่วนการทดลองที่สองจะทำการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์เพื่อทดสอบการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้นมา

4.1 การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์

4.1.1 การทดลองศึกษาผลตอบสนองของระบบ

การทดลองนี้ จะใช้หลอดไฟแทนดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อที่จะดูการตอบสนองของระบบและความแม่นยำในการติดตาม โดยในการทดลองจะทำการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.3 และในการทดลองจะใช้หลอดไส้เกลียว Hitachi 220 โวลต์ 25 วัตต์ ค่าความสว่าง 220 lm เป็นตัวส่ง ในการทดลองจะเริ่มต้นให้ตำแหน่งกึ่งกลางภาพของดวงไฟที่ได้จากกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมอยู่ที่ตำแหน่ง $x = 13$, $y = 22$ โดยมีเป้าหมายต้องการให้ตำแหน่งกึ่งกลางภาพดวงไฟอยู่ที่ตำแหน่ง $x = 512$, $y = 384$ ในการทดลองนี้ใช้การควบคุมแบบพีไอดี โดยจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ แขนงมุมที่ 1 กำหนดให้ $K_c = 0.008$, $T_i = 2000$, $T_d = 0.001$ และแกนมุมที่ 2 กำหนดให้ $K_c = 0.010$, $T_i = 1500$, $T_d = 0.001$ ผลการทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์เพื่อศึกษาผลตอบสนองของระบบแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะการตอบสนองของระบบโดยใช้ฟลัดไฟ

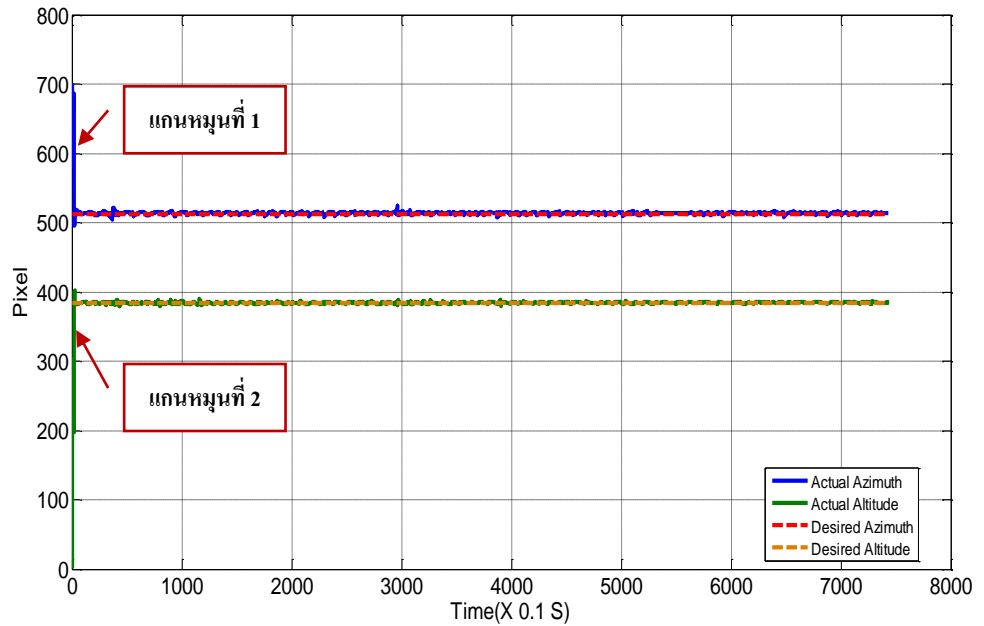
กราฟลักษณะการตอบสนองของระบบโดยใช้ฟลัดไฟเป็นตัวส่ง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกึ่งกลางของภาพดวงไฟกับเวลา จากกราฟพบว่า ทั้งสองแกนจะมีระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ใกล้เคียงกัน โดยในแกนหมุนที่ 1 จะเกิดการเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางมากกว่าแกนหมุนที่ 2 แต่ตัวควบคุมยังสามารถเลี้ยงให้ตำแหน่งกึ่งกลางของดวงไฟอยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของข้อมูลภาพได้ คือ แกนหมุนที่ 1 อยู่ ณ ตำแหน่ง 512 และแกนหมุนที่ 2 อยู่ ณ ตำแหน่ง 384 เมื่อพิจารณากราฟ จะได้ผลการทดลอง แกนหมุนที่ 1 Peak time (T_p) = 0.4 sec, Settling time (T_s) = 1.4 sec (คิดที่ $\pm 2\%$), Rise time (T_r) = 0.15 sec, Percent overshoot (%OS) = 26.56 % และ แกนหมุนที่ 2 จะได้ Peak time (T_p) = 0.5 sec, Settling time (T_s) = 1.5 sec (คิดที่ $\pm 2\%$), Rise time (T_r) = 0.2 sec, Percent overshoot (%OS) = 15.10%

4.1.2 การทดลองติดตามดวงอาทิตย์

การทดลองติดตามดวงอาทิตย์เป็นการทดลองเพื่อทดสอบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ได้อสร้างขึ้นมา สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงหรือไม่และมีความคลาดเคลื่อนเท่าไร ซึ่งในการทดลองจะติดฟิล์มกรองแสงยี่ห้อ Hi Kool รุ่น R65 จำนวน 6 ชั้นที่หน้าเลนส์กล้องดิจิตอลอุตสาหกรรมเพื่อลดความเข้มของแสง ในการทดลองนี้ใช้การควบคุมแบบพีไอดี โดยจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ แกนหมุนที่ 1 กำหนดให้ $K_c = 0.008$, $T_i = 2000$, $T_d = 0.001$ และแกนหมุนที่ 2 กำหนดให้ $K_c = 0.010$, $T_i = 1500$, $T_d = 0.001$ ผลการทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 การทดลองติดตามดวงอาทิตย์



รูปที่ 4.3 ลักษณะการตอบสนองของระบบติดตามดวงอาทิตย์

การทดลองติดตามดวงอาทิตย์เพื่อทดสอบการทำงานจริงเริ่มทดลองเวลา 09.00 - 12.00 น. วันที่ 13 ธันวาคม 2553 ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆน้อยและมีดวงอาทิตย์ปรากฏตลอดวัน (Clear sky)

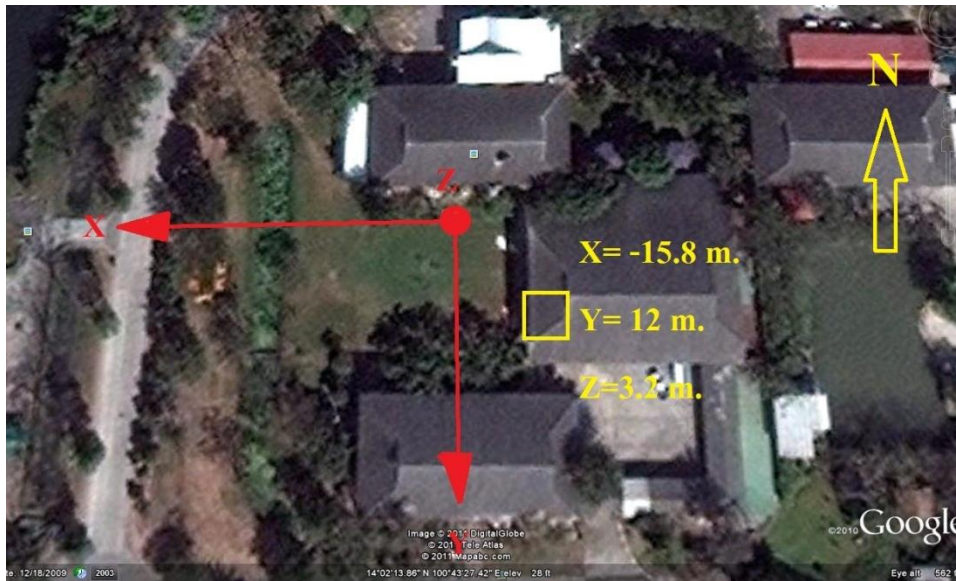
กราฟลักษณะการตอบสนองของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกึ่งกลางของภาพดวงอาทิตย์กับเวลา จากกราฟพบว่า ตัวควบคุมสามารถเลี้ยงให้ตำแหน่งกึ่งกลางภาพดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางข้อมูลภาพได้ตลอดเวลาที่ทดสอบ คือ แกนหมุนที่ 1 อยู่ ณ ตำแหน่ง 512 และแกนหมุนที่ 2 อยู่ ณ ตำแหน่ง 384 โดยระบบมีความคลาดเคลื่อน ± 5 พิกเซล

4.2 การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

การทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ เป็นการนำเอาระบบติดตามดวงอาทิตย์มาทำงานร่วมกับระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ เพื่อที่จะดูว่า ระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้นมาสามารถทำงานได้จริงหรือไม่ โดยในการทดลองจะใช้การควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.9 ในระบบติดตามดวงอาทิตย์จะติดฟิล์มกรองแสงยี่ห้อ Hi Kool รุ่น R65 จำนวน 6 ชั้นที่หน้าเลนส์กล้องดิจิทัลเพื่อลดความเข้มของแสงและใช้การควบคุมแบบพีไอดี โดยจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังนี้ แกนหมุนที่ 1 กำหนดให้ $K_c = 0.008$, $T_i = 2000$, $T_d = 0.001$ และแกนหมุนที่ 2 กำหนดให้ $K_c = 0.010$, $T_i = 1500$, $T_d = 0.001$ ส่วนระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ใช้การควบคุมแบบพีไอดี ที่อยู่ในตัวขับเคลื่อน ดังนั้นในการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จะใช้สัญญาณพัลส์ (Pulse) ที่มี Frequency = 100 Hz และ Duty cycle = 50% โดยที่สัญญาณ 1 พัลส์ จะเท่ากับมอเตอร์หมุนได้ 1 สเต็ปของตัวเอ็นโคเดอร์ โดยมีเป้าหมายของการสะท้อนแสงอาทิตย์อยู่ที่ $V_T = -15.8i + 12j + 3.2k$ เมตร เมื่อเทียบกับระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ผลการทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.4 การทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์



รูปที่ 4.5 ระนาบของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์และตำแหน่งเป้าหมายของการทดลอง

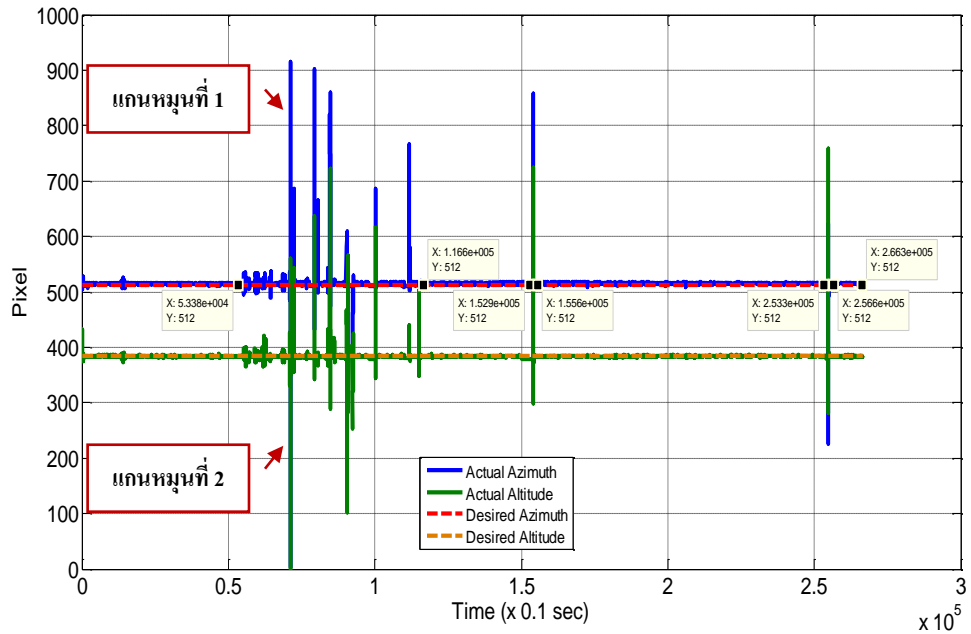


เป้าหมาย
การทดลอง

รูปที่ 4.6 เป้าหมายการทดลอง

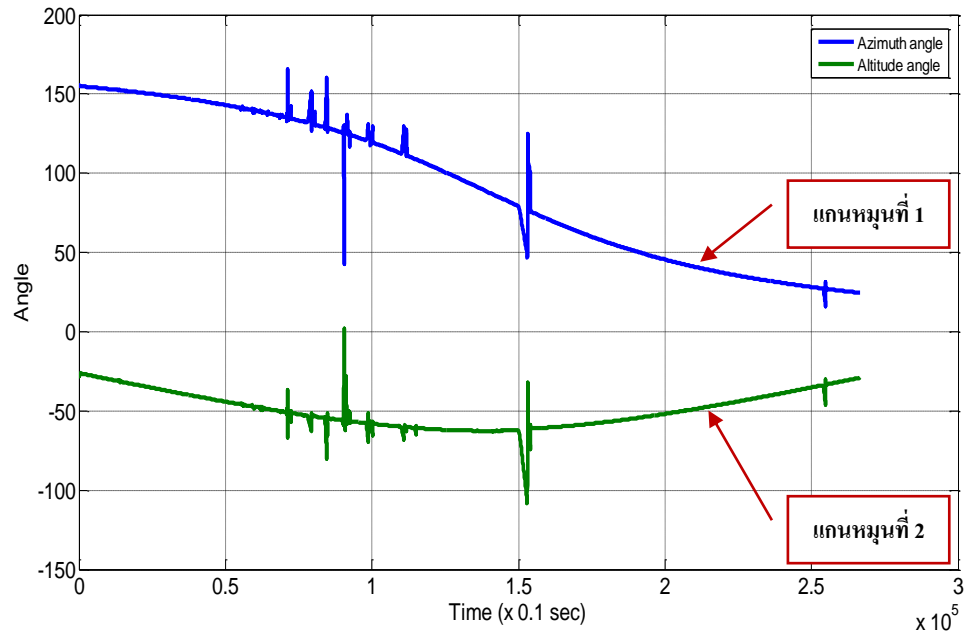


รูปที่ 4.7 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์



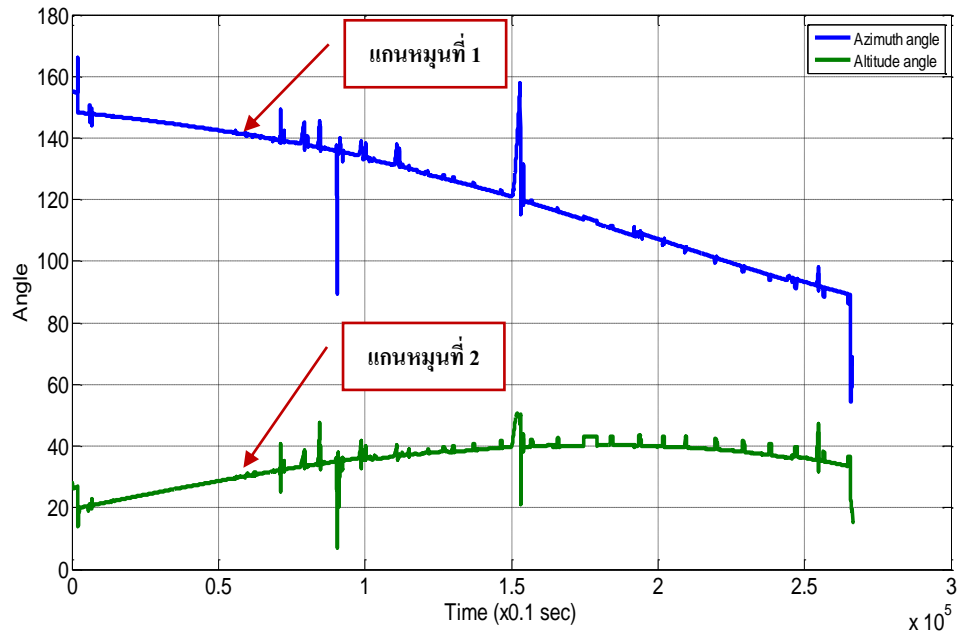
รูปที่ 4.8 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์

กราฟผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งกึ่งกลางของภาพดวงอาทิตย์กับเวลา จากกราฟพบว่า ณ ช่วงเวลาเริ่มต้นทดสอบ - วินาทีที่ 5,338 , วินาทีที่ 11,660 - วินาทีที่ 15,290 , วินาทีที่ 15,560 - วินาทีที่ 25,330 และวินาทีที่ 25,660 - วินาทีที่ 26,630 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มิดวงอาทิตย์ปรากฏ ณ ช่วงเวลาดังกล่าวตัวควบคุมสามารถเลี้ยงให้ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของข้อมูลภาพได้ คือ แกนหมุนที่ 1 อยู่ ณ ตำแหน่ง 512 และแกนหมุนที่ 2 อยู่ ณ ตำแหน่ง 384 แต่ในช่วงเวลา วินาทีที่ 5,338 - วินาทีที่ 11,660 , วินาทีที่ 15,290 - วินาทีที่ 15,560 และวินาทีที่ 25,330 - วินาทีที่ 25,660 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เมฆเคลื่อนที่มาบังดวงอาทิตย์ ทำให้ตัวควบคุมไม่สามารถเลี้ยงให้ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของข้อมูลภาพได้ ทำให้ระบบเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งกึ่งกลางข้อมูลภาพมาก



รูปที่ 4.9 ผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ระหว่างมุมการหมุนของมอเตอร์กับเวลา

กราฟผลการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมการหมุน มอเตอร์กับเวลา จากกราฟพบว่า ในช่วงเวลาที่มีดวงอาทิตย์ปรากฏ ตัวควบคุมสามารถควบคุมมุมการ หมุนของมอเตอร์ให้ติดตามดวงอาทิตย์ได้ แต่ในช่วงเวลาที่มีเมฆเคลื่อนที่มาบังดวงอาทิตย์ ตัวควบคุม ไม่สามารถควบคุมมุมการหมุนของมอเตอร์ให้ติดตามดวงอาทิตย์ได้



รูปที่ 4.10 ผลการทดลองระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ระหว่างมุมการหมุนของมอเตอร์กับเวลา

การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ เพื่อทดสอบการทำงานจริงเริ่มทดลองเวลา 09.00 - 16.00 น. วันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2554 ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภายใต้สภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน (Partly cloudy sky)

กราฟผลการทดลองระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมการหมุนของมอเตอร์กับเวลา พบว่า ในช่วงเวลาที่มีดวงอาทิตย์ปรากฏ ตัวควบคุมสามารถควบคุมมุมการหมุนมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อน โครงสร้างให้สามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้ แต่ในบางช่วงเวลาที่เมฆเคลื่อนที่มาบังดวงอาทิตย์ ตัวควบคุมไม่สามารถควบคุมมุมการหมุนของมอเตอร์เพื่อขับเคลื่อน โครงสร้างให้สามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้ โดยระบบสะท้อนแสงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ± 0.5 เมตร

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สำหรับในระบบติดตามดวงอาทิตย์นั้น จะใช้วิธีเทคนิคการประมวลผลภาพ ซึ่งรับภาพจากกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรม การควบคุมนั้นได้ใช้ตัวควบคุมแบบพีไอดี โดยมีจุดประสงค์คือ ต้องการควบคุมการหมุนของระบบติดตามดวงอาทิตย์และทำให้จุดกึ่งกลางของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการประมวลผลภาพอยู่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ คือ $x = 512$ และ $y = 384$ เพื่อนำมาใช้ในการหมุนของระบบติดตามดวงอาทิตย์มาหาเวกเตอร์ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ส่วนระบบสะท้อนแสงอาทิตย์จะนำค่ามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ได้จากระบบติดตามดวงอาทิตย์ มาควบคุมการหมุนของโครงสร้าง โดยมีจุดประสงค์ คือต้องการให้แสงที่ตกกระทบจากแผ่นกระจกอยู่ ณ ตำแหน่งที่ต้องการได้ตลอดทั้งวัน ($V_T = -15.8i + 12j + 3.2k$) เมตร

การทดลองแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกการทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งแบ่งออกเป็นสองส่วนย่อย คือ ทดลองศึกษาผลตอบสนองของระบบ และทดลองติดตามดวงอาทิตย์ โดยมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อที่จะดูการตอบสนองของระบบ ความแม่นยำในการติดตาม และเพื่อที่จะทดสอบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้นมาสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริงหรือไม่ ส่วนการทดลองที่สองคือ การทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ โดยมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อที่จะดูว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้นมาสามารถทำงานได้จริงหรือไม่

จากผลการทดลองการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ในหัวข้อที่ 4.1.1 พบว่า ในการทดลองแกนนอร์มัลมีระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 1.4 วินาที และแกนอัลติจูดมีระยะเวลาการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 1.5 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาผลตอบสนองของระบบจะเห็นได้ว่า แกนนอร์มัลจะเกิด Overshoot มากกว่าแกนอัลติจูดก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัว นั้นหมายความว่าแกนนอร์มัลจะเคลื่อนที่ออกจากจุดศูนย์กลางมากกว่า ก่อนเข้าสู่สภาวะคงตัวและระบบมีความคลาดเคลื่อน ± 3 พิกเซล การทดลองในหัวข้อที่ 4.1.2 พบว่า ระบบสามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้จริง มีความคลาด

เคลื่อน ± 5 พิกเซล ส่วนการทดลองในหัวข้อที่ 4.2 พบว่า ระบบสามารถทำงานได้จริง โดยระบบติดตามดวงอาทิตย์สามารถติดตามดวงอาทิตย์ได้ตลอดเวลาที่ทดสอบ และมีความคลาดเคลื่อน ± 10 พิกเซล ส่วนระบบสะท้อนแสงอาทิตย์สามารถสะท้อนแสงอาทิตย์ให้อยู่ ณ ตำแหน่งเป้าหมายได้ตลอดเวลาที่ทดสอบและมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.5 m.

เมื่อพิจารณาการทดลองพบว่า ความแม่นยำในการทดลองจะขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้า ขณะทำการทดลอง ระบบจะมีความแม่นยำสูงหากสภาพท้องฟ้ามีเมฆน้อยและมีดวงอาทิตย์ปรากฏตลอดวัน

5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา

5.2.1 มีสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าในระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ทำให้ค่าเอ็นโคเดอร์ที่วัดได้ไม่แม่นยำ ดังนั้นจึงควรแยกอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมออกจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าและควรมีอุปกรณ์กรองไฟ เพื่อลดสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า

5.2.2 ก่อนการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ต้องมีการ Homing ก่อน แต่เนื่องจากการสั่นสะเทือนของระบบและความแม่นยำของลิimitsวิตซ์ทำให้ตำแหน่ง Homing มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ดังนั้นจึงควรมีการปรับเทียบ (Calibration) ตำแหน่ง Homing ทุกครั้งก่อนทำการทดลอง เพื่อให้ผลการทดลองมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5.2.3 การตั้งเฟรมระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ต้องเป็นเฟรมเดียวกัน แต่เนื่องจากเข็มทิศที่ใช้ตั้งเฟรมมีความละเอียดต่ำ ทำให้เฟรมไม่เป็นเฟรมเดียวกัน ดังนั้นจึงควรมีเครื่องมือที่มีความละเอียดสูงสำหรับการตั้งเฟรม เพื่อให้ผลการทดลองมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

5.2.4 ระบบนี้จะใช้ได้ดีและมีความแม่นยำสูง ในตอนที่ท้องฟ้าแจ่มใส (Fine) และดวงอาทิตย์ปรากฏตลอดทั้งวัน ดังนั้นการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ควรใช้วิธีคำนวณจากสมการคณิตศาสตร์หรือใช้ค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากสถานะอูดินิยมวิทยา เพราะมีความแม่นยำสูงและสามารถใช้ได้ในทุกสภาพอากาศ

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

5.3.1 เนื่องจากการวิจัยระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ มีการทดลองภายในวันเดียว ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานของระบบ จึงควรพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมเพิ่มเติม เพื่อให้ระบบสามารถทดลองข้ามวันได้

5.3.2 เนื่องจากระบบติดตามดวงอาทิตย์จะทำงานได้เมื่อเห็นดวงอาทิตย์ แต่เมื่อไม่เห็นดวงอาทิตย์ระบบจะหยุดนิ่ง ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำงานของระบบจึงควรพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมเพิ่ม เพื่อให้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ทำงานได้แม้ในเวลาที่ไม่เห็นดวงอาทิตย์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Aracil, C. et al., “Tracking System for Solar Power Plants”, **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, (Electronic), 2006, pp.3024 – 3029. Available : IEEE organization / IEEEXplorer (22 February 2011)
- [2] ชนกร ลิ่มสุวรรณและคณะ, “อุปกรณ์ติดตามดวงอาทิตย์สำหรับวัดพลังงานแสงอาทิตย์” **การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย**, ครั้งที่ 2, 27 – 29 กรกฎาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา.
- [3] คงฤทธิ์ แม้นศิริและคณะ, “โปรแกรม Sun Tracking and Simulation สำหรับการศึกษาค่าพลังงานแสงอาทิตย์” **การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย**, ครั้งที่ 1, 11 – 13 พฤษภาคม 2548, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซีดี จอมเทียน จังหวัดชลบุรี.
- [4] Roth, P., Georgive, A. and Boudinob, H., “Design and construction of a system for Sun – tracking,” **Renewable Energy** (Electronic), Vol.29, 2004. pp.393 – 402. Available : Applied ScienceDirect (22 February 2011)
- [5] George, C. and Bakos, “Design and construction of a two – axis Sun tracking system for parabolic trough collector (PTC) efficiency improvement,” **Renewable Energy** (Electronic), Vol.31, 2006. pp.2411 – 2421. Available : Applied ScienceDirect (22 February 2011)
- [6] อนุชา ดีผาง, สິงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์และเจริญพร เลิศสถิตชนกร, “ระบบติดตามดวงอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์เชิงดิจิทัล” **การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย**, ครั้งที่ 1, 11 – 13 พฤษภาคม 2548, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซีดี จอมเทียน จังหวัดชลบุรี.
- [7] ธนภัทร พรหมวัฒน์ภักดีและเอกชัย ดีศิริ, “ระบบติดตามดวงอาทิตย์จากอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งเชิงดิจิทัลด้วยซีพีแอลดี,” **ศรีปทุมปริทัศน์**, ฉบับที่ 1, 2550.
- [8] ศักดิ์สิทธิ์ บัวเงินและคณะ, “ระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ”, (Online) Available: <http://thestar.spu.ac.th/content/627/12724.php> (23 ธันวาคม 2553).
- [9] Baheti, R.S. and Scott, P.F., “Design of self – calibrating Controllers for Heliostats in a Solar Power Plant,” **IEEE Transactions on Automatic Control** (Electronic), 1980, Vol.ac – 25, pp. 1091 – 1097. Available : IEEE organization / IEEEXplorer (22 February 2011)

- [10] Enrile, J. et al., “Helioistst for large PV plants,” **IEEE Photovoltaic Energy Conversion** (Electronic), 2003, Vol.3, pp. 2386 – 2388. Available : IEEE organization / IEEEXplorer (22 February 2011)
- [11] โครงการ การเรียนรู้เรื่องวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ, การหมุนเวียนของบรรยากาศ และอิทธิพลของฤดูกาล (Online), Available:
http://203.172.208.242/tatalad/subject/Science/Earth%20Science/atmosphere/atm_circulation/atm_circulation/atm_circulation.htm (22 กุมภาพันธ์ 2554)
- [12] ดาราศาสตร์และอวกาศสำหรับคนไทย, ความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ (Online), Available: [http:// webstory.netfirms.com/story/solar1sunandearth.ht](http://webstory.netfirms.com/story/solar1sunandearth.ht) (22 กุมภาพันธ์ 2554)
- [13] ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, มุมอิมมูธ (Online), Available: [http:// www.neutron.rmutphysics.com](http://www.neutron.rmutphysics.com) (22 กุมภาพันธ์ 2554)
- [14] **CCD vs CMOS ใครคือผู้ชนะ** (Online), Available: [http://](http://www.klongdigital.com/news2/column5)
<http://www.klongdigital.com/news2/column5> (22 กุมภาพันธ์ 2554)
- [15] **ระบบควบคุมพีไอดี** (Online), Available: [http:// th.wikipedia.org/wiki](http://th.wikipedia.org/wiki) (26 กุมภาพันธ์ 2554)
- [16] Gene, F., and David, J., Feedback Control of Dynamic System. Third Edition. Pp.175
- [17] **Monochrome Cameras** (Online), Available: [http:// www.graftek.com/pages/scA1000 - 30FM.htm](http://www.graftek.com/pages/scA1000-30FM.htm) (22 กุมภาพันธ์ 2554)
- [18] **Accelus™ Panel** (online), Available:
http://www.copleycontrols.com/motion/pdf/Accelus_Panel.pdf (10 มีนาคม / 2554)
- [19] **Motion Control Lexium 23 Plus Catalogue** (Online), Available: [http://www.global – download.schneiderelectric.com/852577A4005D7372/all/FD897D2B8C154495852577 C3005D0487/\\$File/lexium%2022%20plus%20en%202010.pdf](http://www.global-download.schneiderelectric.com/852577A4005D7372/all/FD897D2B8C154495852577C3005D0487/$File/lexium%2022%20plus%20en%202010.pdf) (10 มีนาคม 2554)
- [20] **National Instruments NI PCI - 6232 Overview** (Online), Available:
<http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/en/nid/202501> (10 มีนาคม 2554)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ภาคผนวก ข โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

ภาคผนวก ก
รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ก.1 เครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer)

เครื่องคอมพิวเตอร์ใช้ในการทำหน้าที่ ควบคุมการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ และ สะท้อนแสงอาทิตย์ โดยใช้การทำงานของคอมพิวเตอร์สามเครื่องคือ คอมพิวเตอร์หลัก ใช้เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ศูนย์กลางในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของระบบ ติดตามดวงอาทิตย์ และ ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ส่วนเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องที่สองเรียกว่า คอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบติดตามดวงอาทิตย์ ใช้เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานของ ระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้โปรแกรม LabVIEW แบบ Real time พร้อมทั้งรับข้อมูลภาพดวง อาทิตย์จากกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรม และเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องที่สามเรียกว่าคอมพิวเตอร์เป้าหมายระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ใช้เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์เป้าหมายในการควบคุมการทำงานของระบบ สะท้อนแสงอาทิตย์

ก.2 มอเตอร์และไดรฟ์

เซอร์โวมอเตอร์รุ่น Minertia motor F series UGFMED – 03SRT21 ผลิตโดย Yaskawa electric corporation

เซอร์โวมอเตอร์รุ่น Lexium 23 C BCH0602011A1C ผลิตโดย Schneider electric มีข้อมูล จำเพาะดังตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์

Rated input	Single phase 220 – 255 V. ~ 50/60 Hz
Rated speed	3000 rpm
Maximum speed	5000 rpm
Peak stall torque	3.82 Nm
Rated torque	1.27 Nm
Inertia (without brake)	0.277 kg/cm ²
Output power	0.4 Kw

มอเตอร์ไครว์รุ่น ASP – 090 – 09 ผลิตโดย Copley Controls Corp. มีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ ก.3

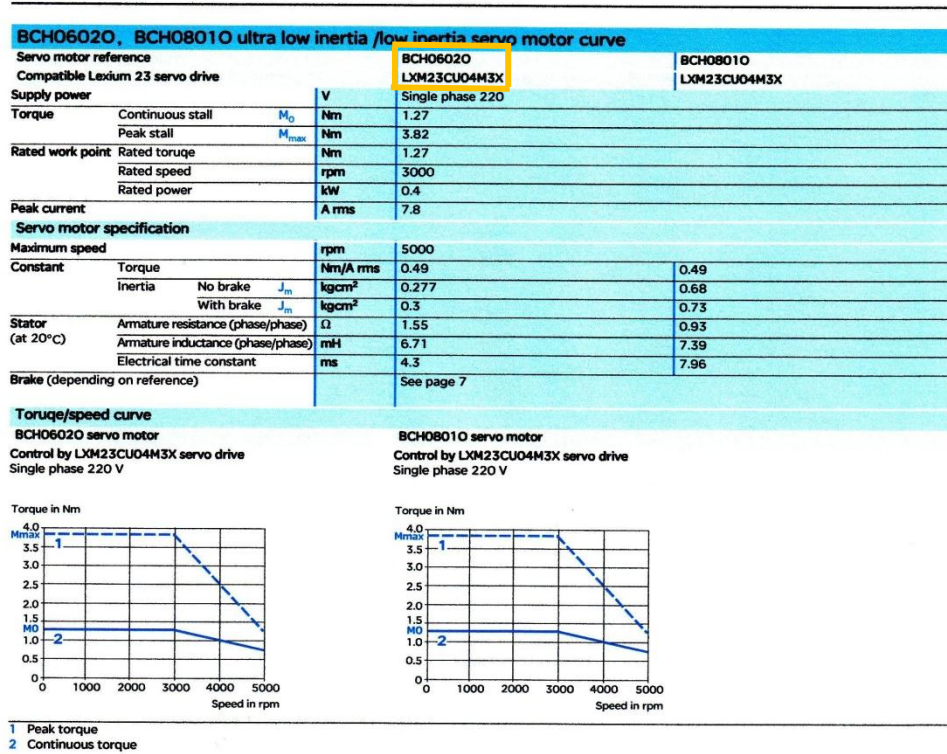
ตารางที่ ก.3 ข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์ไครว์ [18]

Copley Controls		Accelus™ Panel					DIGITAL SERVOAMPLIFIER for BRUSHLESS or BRUSH MOTORS		CE
GENERAL SPECIFICATIONS									
Test conditions: Load = 3-phase Wye connected load, 2 mH line-line. Ambient temperature = 25 °C. +HV = HVmax									
MODEL	ASP-055-18	ASP-090-09	ASP-090-18	ASP-090-36	ASP-180-09	ASP-180-18			
OUTPUT POWER									
Peak Current	18 (12.7)	9 (6.4)	18 (12.7)	36 (25.5)	9 (6.4)	18 (12.7)	Adc (Arms)		
Peak time	1	1	1	1	1	1	s		
Continuous current	6 (4.2)	3 (2.1)	6 (4.2)	12 (8.5)	3 (2.1)	6 (4.2)	Adc (Arms) per phase		
Peak Output Power	0.92	0.79	1.55	2.95	1.59	3.15	kW		
Continuous Output Power	0.32	0.27	0.53	1.0	0.53	1.06	kW		
INPUT POWER									
HV _{min} to HV _{max}	+20 to +55	+20 to +90	+20 to +90	+20 to +90	+20 to +180	+20 to +180	Vdc, Transformer-isolated		
Peak current	20	10	20	40	10	20	Adc (1 sec) peak		
Continuous current	6.7	3.3	6.7	13.3	3.3	6.7	Adc continuous		
PWM OUTPUTS									
Type	3-phase MOSFET inverter, 20 kHz center-weighted PWM, space-vector modulation								
PWM ripple frequency	40 kHz								
COMMUTATION & CONTROL									
Current loop	20 kHz (50 µs period) update rate								
Velocity & position loop	4 kHz (250 µs period) update rate								
Commutation	Sinusoidal, field-oriented control of DC brushless motor								
Phase Initialization	Amplifier initializes in trapezoidal commutation until a Hall transition occurs, then switches to sinusoidal commutation with phase-correction at each Hall signal transition								
BANDWIDTH									
Current loop, small signal	3 kHz typical, bandwidth will vary with tuning & load inductance								
HV Compensation	Changes in HV do not affect bandwidth								
Analog torque/velocity	±10Vdc, 12 bit resolution			Differential (J3-2,14)					
Input impedance	66 kΩ			Between Ref(+), Ref(-)					
Digital position reference	Pulse/Direction, CW/CCW			Stepper commands (2 MHz maximum rate)					
Digital torque & velocity reference	Quad A/B Encoder			20 Mcount/sec (after quadrature), 5 Mline/sec					
	PWM, Polarity			PWM = 0~100%, Polarity = 1/0					
	PWM			PWM = 50% +/-50%, no polarity signal required					
	PWM frequency range			1 kHz minimum, 100 kHz maximum					
PWM minimum pulse width			220 ns						
All inputs	74HC14 Schmitt trigger operating from 5.0 Vdc with RC filter on input								
Logic levels	Vin-LO < +1.35 Vdc, Vin-HI > +3.65 Vdc, Input voltage range 0 to +24 Vdc								
Pull-up, pull-down control	[IN2,3,4] have group selectable connection of 10 kΩ input pull-up/down resistor to +5 Vdc or ground								
Enable [IN2]	Dedicated input with 330us RC filter for amplifier enable, active level programmable								
GP [IN1,2,3,4]	General Purpose inputs with 330us RC filter and active level select, [IN1,3,4] have programmable functions								
HS [IN5,6]	High-Speed Inputs inputs with 100ns RC filter, active level select, and programmable functions								
RS-232	RxD, TxD, Gnd in 6-position, 4-contact RJ-11 type modular connector, and on J3-24, 25, & 13 Full-duplex, serial communication port for amplifier setup and control, 9600 to 115200 baud Data protocol: binary								
Phase U, V, W	Amplifier outputs to 3-phase Wye or delta connected brushless motors with floating neutral								
Hall U, V, W	Digital Hall signals								
Encoder A, /A, B, /B, (X, /X)	Quadrature encoder signals, single-ended or differential (X or Index signal not required)								
[IN1] Motemp	5 MHz maximum line frequency (20 Mcount/s) when driven from active differential outputs See Digital Inputs (above) for details (Note 1)								
Amp Status	Bicolor LED. Amplifier status indicated by color, and blinking or non-blinking condition								
Type [OUT1,2]	Current-sinking MOSFET open-drain output with 1kΩ pullup to +5 V through diode, 1 Adc sink max, +30 Vdc max. External flyback diode required with inductive loads								
HV Overvoltage	+HV > HV _{max}			Amplifier outputs turn off until +HV < HV _{max} (See Input Power for HV _{max})					
HV Undervoltage	+HV < 20 Vdc			Amplifier outputs turn off until +HV > 20 Vdc					
Amplifier over temperature	PC Board > 70 °C.								
Short circuits	Output to output, output to ground, internal PWM bridge faults								
IT Current limiting	Programmable: continuous current, peak current, peak time								
Motor over temperature	Digital inputs programmed for overtemp function will disable amplifier								
Size	6.58 in (167,1 mm) X 3.89 in (98,81 mm) X 1.17 in (29,72 mm)								
Weight	0.94 lb (0.43 kg) for amplifier without heatsink								
Ambient temperature	0 to +45 °C operating, -40 to +85 °C storage								
Humidity	0% to 95%, non-condensing								
Contaminants	Pollution degree 2								
Environment	IEC68-2: 1990								
Cooling	Heat sink and/or forced air cooling may be required for continuous power output (see pg. 8 & 9)								

1. Digital input & output functions are programmable. Default functions are shown here.

มอเตอร์ไคร์วีรุ่น LXM23CU04M3X ผลิตโดย Schneider electric มีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ ก.4

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์ไคร์วี [19]



ก.3 กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรม

กล้องดิจิทัลอุตสาหกรรมรุ่น scA1000 – 30gm/gc ผลิตโดย BASLER มีข้อมูลจำเพาะดังตาราง
ที่ ก.5 และ ก.6

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลจำเพาะของกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรม [16]

Basler scA1000-30gm					
Item	Symbol	Typ. ¹	Std. Dev. ²	Unit	Remarks
Temporal Noise Parameters					
Total Quantum Efficiency (QE)	η	43	TBD	%	$\lambda = 545 \text{ nm}$
Inverse of Overall System Gain	$\frac{1}{K}$	3.6	0.15	$\frac{e^-}{DN}$	
Temporal Dark Noise	σ_{d0}	11	0.8	e^-	
Saturation Capacity	$\mu_{e.sat}$	14000	600	e^-	
Derived Parameters					
Absolute Sensitivity Threshold	$\mu_{p.min}$	25	TBD	$p\sim$	$\lambda = 545 \text{ nm}$
Dynamic Range	$DYN_{out.bit}$	10.3	0.10	bit	
Maximum SNR	$SNR_{y,max.bit}$	6.9	0.03	bit	
	$SNR_{y,max.dB}$	41.4	0.20	dB	
Item	Symbol	Typ.	Std. Dev. ³	Unit	Remarks
Spatial Noise Parameters					
Spatial Offset Noise, $DSNU_{1288}$	σ_o	3.8	0.3	e^-	
Spatial Gain Noise, $PRNU_{1288}$	S_g	1.5	0.3	%	

Operating Point		
Item	Symbol	Remarks
Video output format		12 bits/pixel(Mono16)
Gain		360
Offset		9
Exposure time	T_{exp}	100.0 μs to 49.1 ms

¹The unit e^- is used in this document as a statistically measured quantity.

²The standard deviation was calculated from a sampling of 58 cameras.

³The standard deviation was calculated from a sampling of 18 cameras.

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลจำเพาะของกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรม [16]

Basic Information	
Vendor	Basler
Model	scA1000-30gm
Type of data presented	Typical
Number of samples	58
Sensor	Sony ICX204AL
Sensor type	CCD
Sensor diagonal	
Indication of lens category to be used	C-Mount
Resolution	1034 x 779 pixel
Pixel width	4.65 μm
Pixel height	4.65 μm
Readout type	Progressive scan
Transfer type	
Shutter type	-
Overlap capabilities	-
Maximum frame rate	31 frames/second
General conventions	
Interface type	Gigabit Ethernet

ก.4 Gearbox

Gearbox รุ่น PE070 – 015 ผลิตโดย Apex gearbox มีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ ก.7

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลจำเพาะของเกียร์บ็อก

Ratio	15:1
Output torque	39 Nm
Max. torque	70.2 Nm
Weight	2.7 kg
Rated speed	4000 rpm
Max. speed	6000 rpm
Inertia	0.5 kgcm^2

ก.5 การ์ด DAQ

การ์ด DAQ NI PCI – 6232 ผลิตโดย National Instruments ทำหน้าที่เก็บข้อมูลและแปลงสัญญาณทั้ง Analog (I/O) Digital (I/O) Timing (I/O) และ Trigger โดยมีการแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นแอนะล็อกหรือแอนะล็อกเป็นดิจิทัล เก็บข้อมูลสัญญาณทางไฟฟ้าและเซนเซอร์ซึ่งรับสัญญาณจากอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง และนำไปประมวลผล ดังรูปที่ ก.1 มีข้อมูลจำเพาะดังตารางที่ ก.8 และ ก.9



รูปที่ ก.1 การ์ด DAQ

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลจำเพาะของการ์ด DAQ [20]

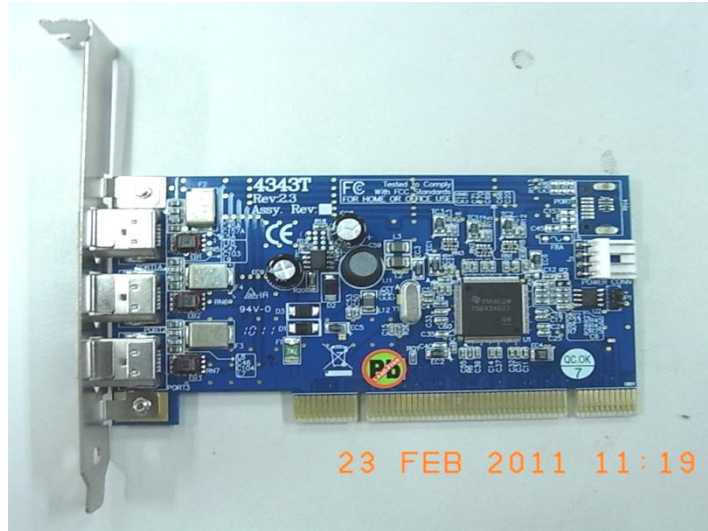
Product Name	PCI-6232
Product Family	Multifunction Data Acquisition
Form Factor	PCI
Part Number	779617-01
Operating System/Target	Windows , Real-Time
LabVIEW RT Support	Yes
DAQ Product Family	M Series
Measurement Type	Digital , Frequency , Quadrature encoder , Voltage
Isolation Type	Bank Isolation
RoHS Compliant	Yes
Analog Input	
Channels	16 , 8
Single-Ended Channels	16
Differential Channels	8
Resolution	16 bits
Sample Rate	250 kS/s
Max Voltage	10 V
Maximum Voltage Range	-10 V , 10 V
Maximum Voltage Range Accuracy	3.1 mV
Maximum Voltage Range Sensitivity	97.6 μ V
Minimum Voltage Range	-0.2 V , 0.2 V
Minimum Voltage Range Accuracy	112 μ V
Minimum Voltage Range Sensitivity	5.2 μ V
Number of Ranges	4
Simultaneous Sampling	No
On-Board Memory	4095 samples
Analog Output	
Channels	2
Resolution	16 bits
Max Voltage	10 V
Maximum Voltage Range	-10 V , 10 V
Maximum Voltage Range Accuracy	3.23 μ V
Minimum Voltage Range	-10 V , 10 V
Minimum Voltage Range Accuracy	3.23 μ V
Update Rate	500 kS/s
Current Drive Single	5 mA
Current Drive All	10 mA
Digital I/O	

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลจำเพาะของการ์ด DAQ [20]

Bidirectional Channels	0
Input-Only Channels	6
Output-Only Channels	4
Number of Channels	0 , 6 , 4
Timing	Software
Logic Levels	24 V
Input Current Flow	Sinking , Sourcing
Output Current Flow	Sourcing
Programmable Input Filters	Yes
Supports Programmable Power-Up States?	Yes
Current Drive Single	350 mA
Current Drive All	400 mA
Watchdog Timer	No
Supports Handshaking I/O?	No
Supports Pattern I/O?	No
Maximum Input Range	0 V , 30 V
Maximum Output Range	0 V , 30 V
Counter/Timers	
Counters	2
Number of DMA Channels	4
Buffered Operations	Yes
Debouncing/Glitch Removal	Yes
GPS Synchronization	No
Maximum Range	0 V , 30 V
Max Source Frequency	80 MHz
Minimum Input Pulse Width	12.5 ns
Pulse Generation	Yes
Resolution	32 bits
Timebase Stability	50 ppm
Logic Levels	24 V
Physical Specifications	
Length	15.5 cm
Width	9.7 cm
I/O Connector	37-pin D-Sub
Timing/Triggering/Synchronization	
Triggering	Digital
Synchronization Bus (RTSI)	Yes

ก.6 การ์ด IEEE 1394

การ์ด IEEE 1394 PCI – 8352 ผลิตโดย National Instruments ทำหน้าที่เก็บข้อมูลภาพจากกล้องดิจิทัลอุตสาหกรรม มีความเร็วในการส่งผ่านข้อมูล 400 Mb/s ดังรูปที่ ก.2



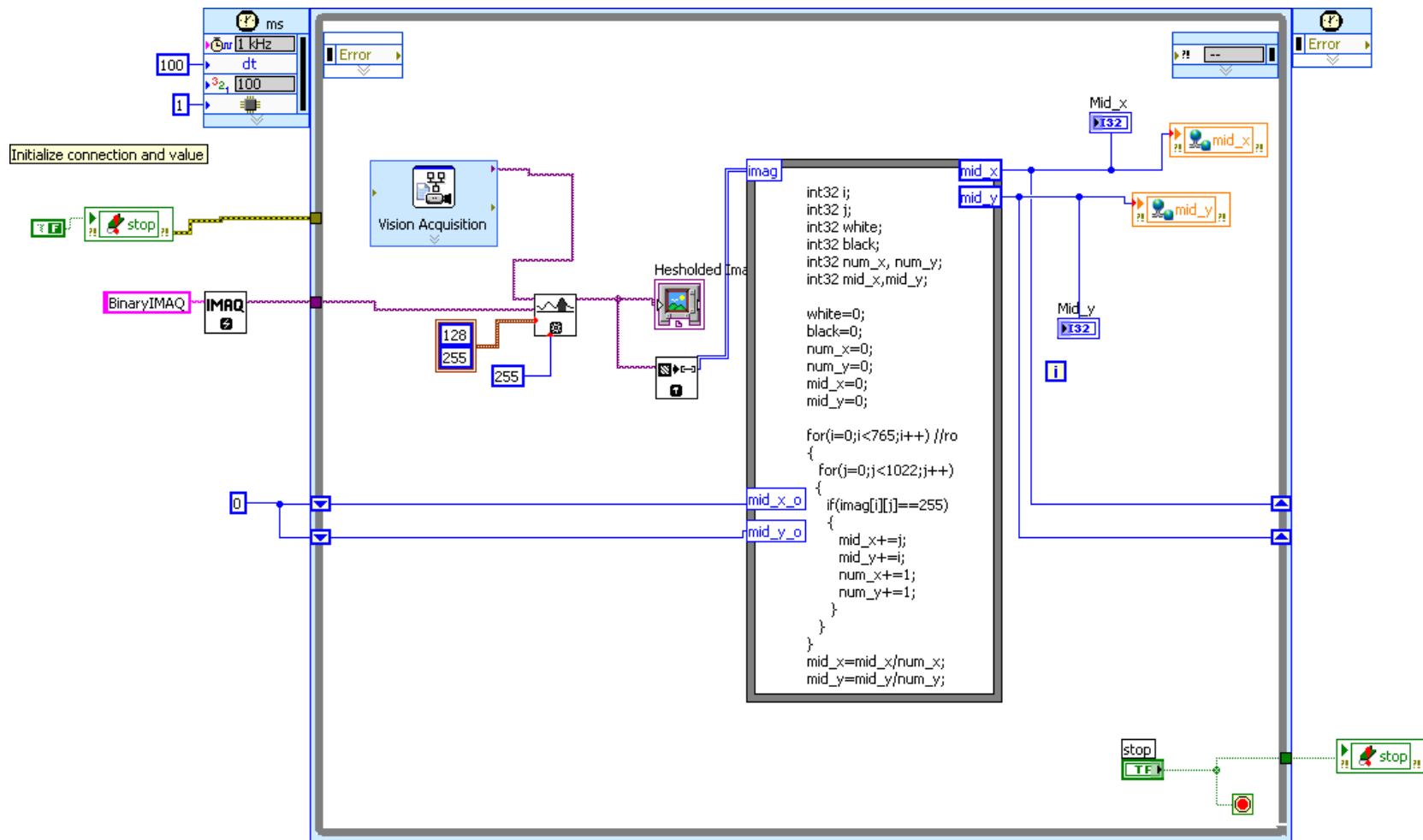
รูปที่ ก.2 การ์ด IEEE 1394

ภาคผนวก ข
โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

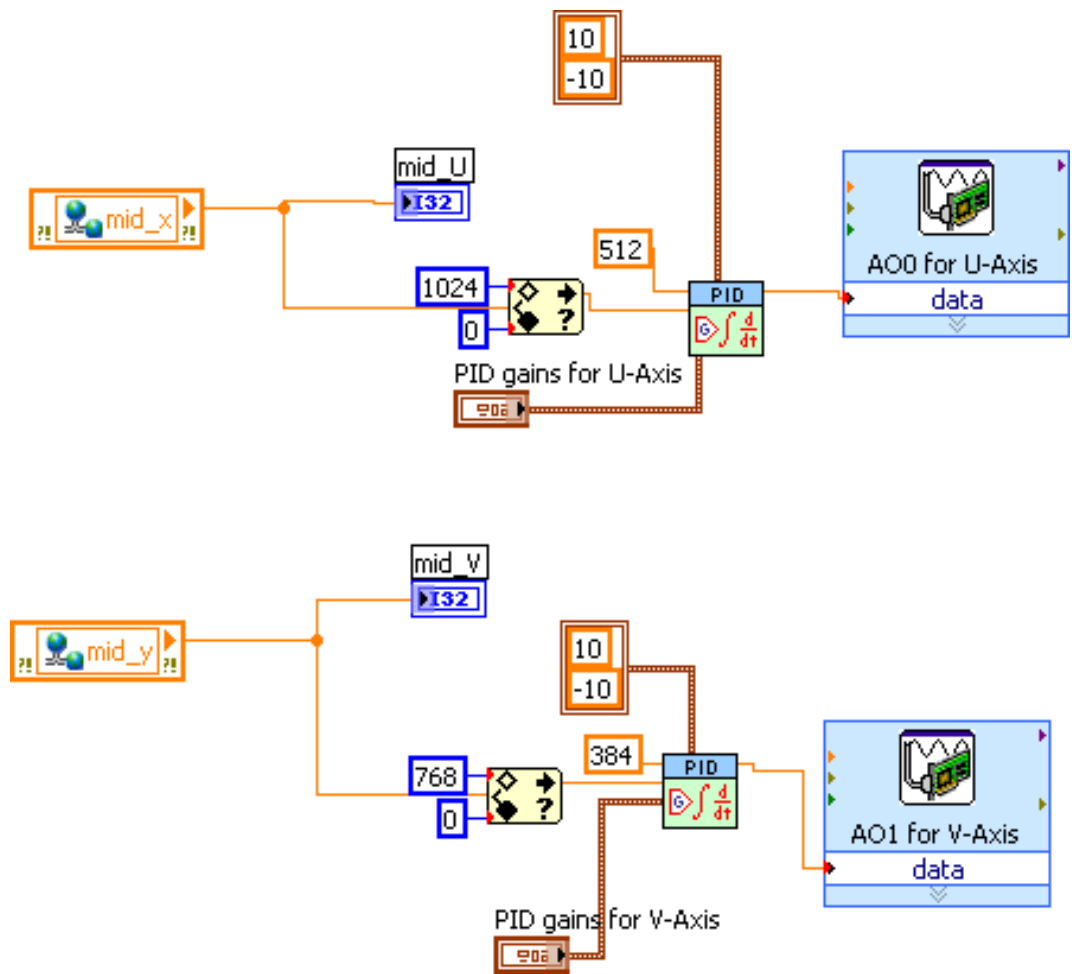
ในการทดลองระบบติดตามดวงอาทิตย์และระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จะใช้โปรแกรม LabVIEW ในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงาน โดยจะแบ่งโปรแกรมออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ส่วนที่สองจะเป็นโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

ข.1 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบติดตามดวงอาทิตย์

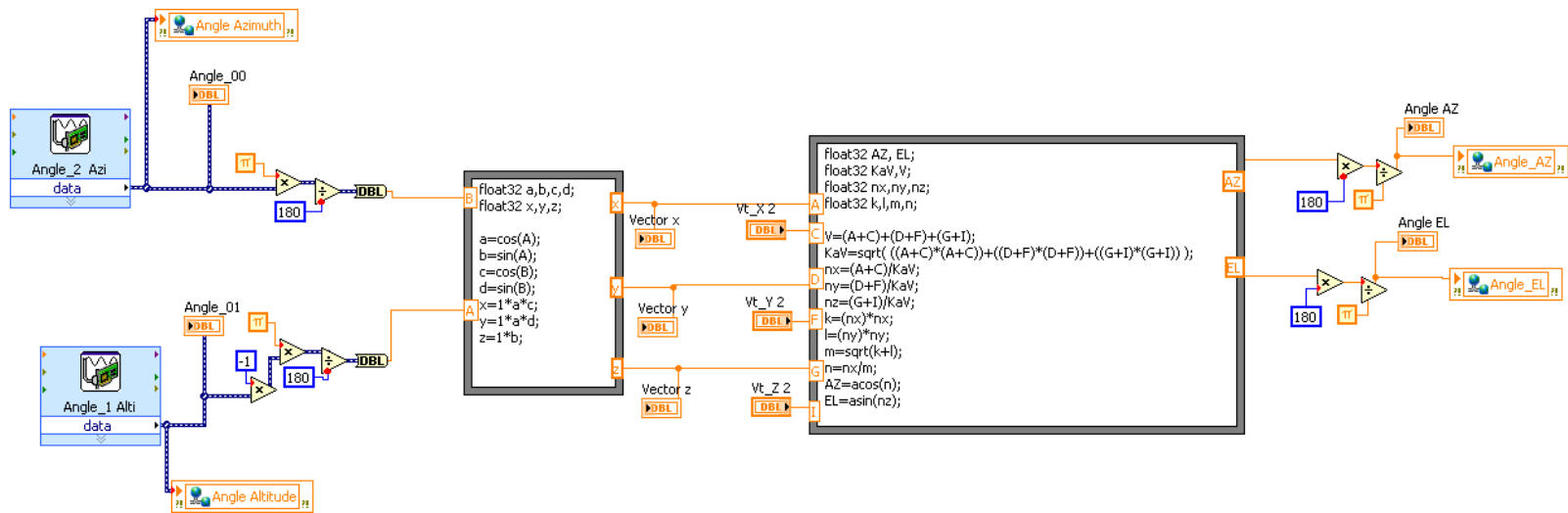
โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบติดตามดวงอาทิตย์ สามารถแบ่งออกเป็นโปรแกรมย่อยได้ 3 โปรแกรม คือ โปรแกรมการประมวลผลภาพและหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ โปรแกรมควบคุมการหมุนของมอเตอร์และโปรแกรมการห้ามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ ข.1, ข.2 และ ข.3



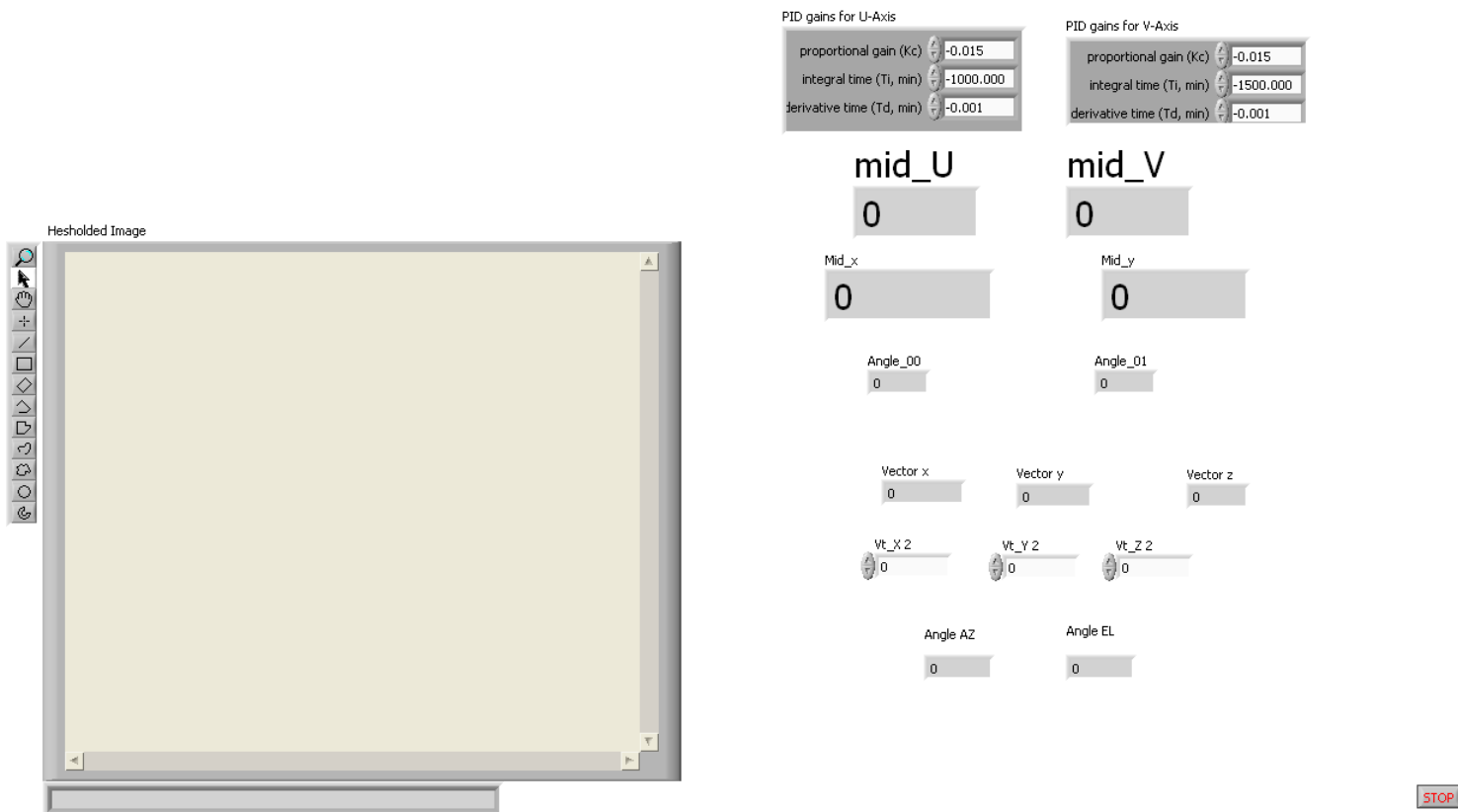
รูปที่ ข.1 บล็อกโคอะแกรมการประมวลผลภาพและหาจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์



รูปที่ ข.2 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมการหมุนของมอเตอร์



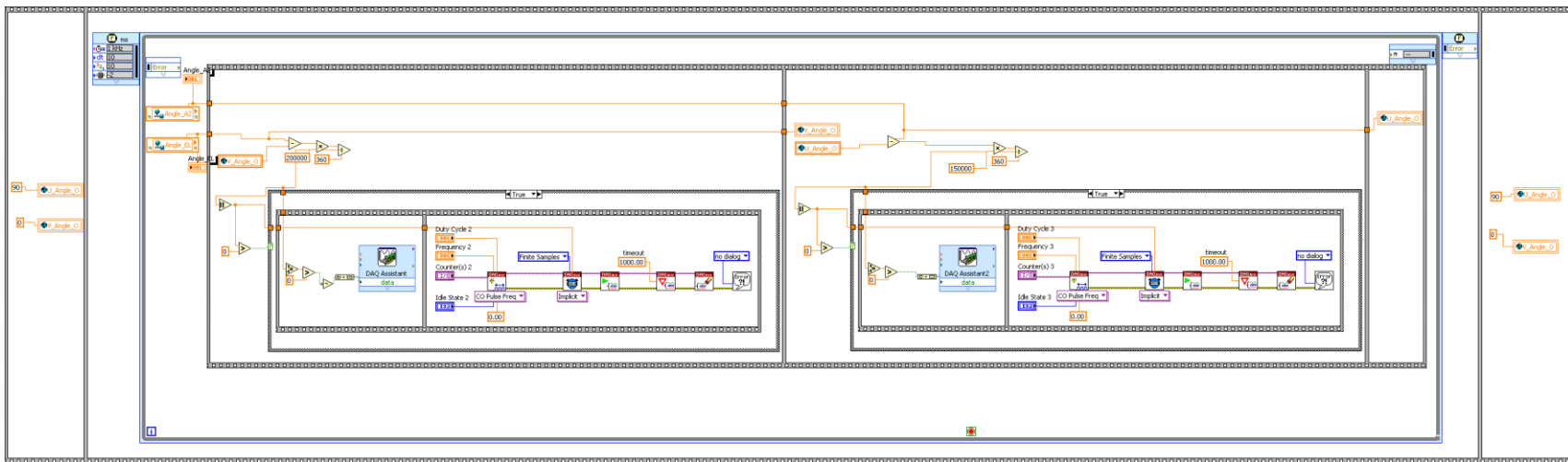
รูปที่ ข.3 บล็อกโคแอดแกรมการหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์



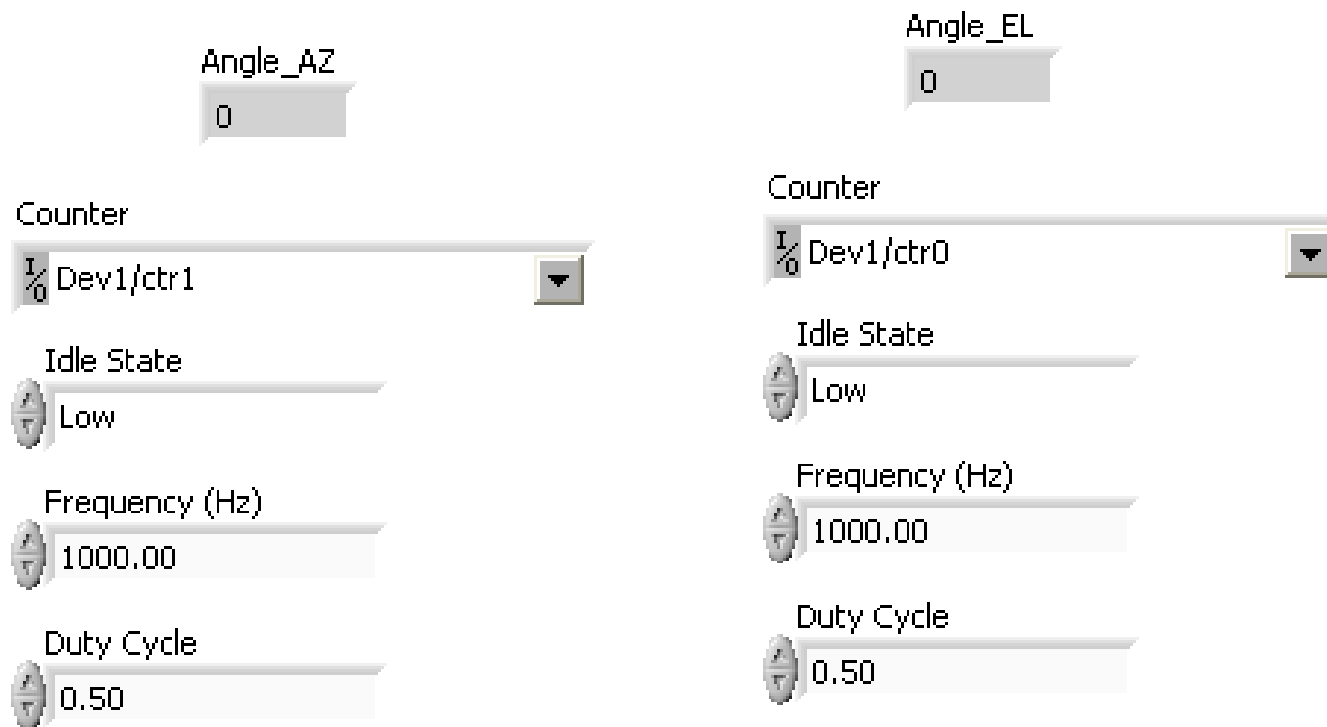
รูปที่ ข.4 Front Panelของระบบติดตามแสงอาทิตย์

ข.2 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

โปรแกรมควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จะรับค่ามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์มาจากระบบติดตามดวงอาทิตย์ และควบคุมการหมุนของมอเตอร์ ดังรูปที่ ข.5

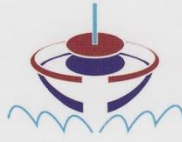


รูปที่ ข.5 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์



รูปที่ ข.6 Front Panelของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

ภาคผนวก ค
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



PEC-9

Faculty of Engineering

Prince of Songkla University

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 9

The 9th PSU-Engineering Conference

2-3 พฤษภาคม 2554

ณ โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท (หาดไตรตรังค์) จังหวัดภูเก็ต

PEC-9

<http://www.pec.eng.psu.ac.th>

ผู้ให้การสนับสนุน



ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกมหาวิทยาลัย

1. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- | | |
|---------------------------------|-------------------|
| 1. รศ.ดร.สมเกียรติ ปรัชญาวารากร | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 2. ดร.เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 3. ดร.ศุภกิตต์ โชติโก | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |

2. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

- | | |
|-------------------------------|-------------------|
| 1. รศ.ดร.อรรถกร เก่งพล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 2. ผศ.ดร.สมพร สิริสำราญนุกูล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 3. ผศ.ดร.สมศักดิ์ อรรถทิมากุล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |

3. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

- | | |
|---------------------------|-------------------|
| 1. ผศ.ดร.วาทิต ภัคดี | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 2. ดร.จิรวรรณ คล้อยภยันต์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |

4. มหาวิทยาลัยมหิดล

- | | |
|---------------------------------------|-------------------|
| 1. รศ.ดร.ดวงพรรณณ ศฤงคารินทร์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 2. รศ.ดร.จิตต์ศักดิ์ดา สักดาภิพาณิชย์ | คณะวิทยาศาสตร์ |

5. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- | | |
|----------------------------------|-------------------|
| 1. ผศ.ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ | คณะวิทยาศาสตร์ |
| 2. ดร.เกริก ภิรมย์โสภา | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 3. ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |

6. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- | | |
|------------------------|-------------------|
| 1. รศ.ดร.โมไนย ไกรฤกษ์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 2. ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |

7. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

- | | |
|------------------------------|-------------------|
| 1. รศ.ดร.พรเทพ ขอบจายเกียรติ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 2. ผศ.ดร.ชาญณรงค์ สายแก้ว | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 3. ผศ.อนันต์ เจ่าสกุล | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |

8. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

- | | |
|------------------------------|-------------------|
| 1. ผศ.ดร.สมบัติ สิ้นธุเชาวน์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
|------------------------------|-------------------|

9. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

- | | |
|------------------------|-------------------|
| 1. ผศ.ดร.นิวิท เจริญใจ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
|------------------------|-------------------|

10. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

- | | |
|----------------------------|-------------------|
| 1. รศ.ดร.สุวิมล สัจฉาณิชย์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
|----------------------------|-------------------|

11. มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์

- | | |
|----------------------|-------------------|
| 1. ผศ.สิริวิษ ทัดสวน | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
|----------------------|-------------------|

12. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

- | | |
|------------------------|------------------------------------|
| 1. ผศ.วิจิตรา เพ็ชรกิจ | สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร |
|------------------------|------------------------------------|

13. มหาวิทยาลัยทักษิณ

- | | |
|----------------------------|----------------|
| 1. ผศ.ดร.นุกุล อินทระสังขา | คณะวิทยาศาสตร์ |
|----------------------------|----------------|

14. มหาวิทยาลัยรังสิต

- | | |
|----------------------|-------------------|
| 1. ดร.พิษณุ มนต์ปิติ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
|----------------------|-------------------|

ผู้ทรงคุณวุฒิภายในมหาวิทยาลัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์

- | | |
|-------------------------------|----------------------|
| 1. รศ.บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษา | ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า |
| 2. รศ.ดร.เกริกชัย ทองหนู | ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า |
| 3. ผศ.ดร.ณัฐา จินดาเพ็ชร | ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า |
| 4. ผศ.ดร.วิกลม ชีรภาพจรเดช | ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า |

5. ผศ.ดร.พรชัย พุกภัยภัทรานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
6. ดร.ไพโรจน์ วุ่นชม	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
7. อ.กิตติคุณ ทองพูล	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
8. ผศ.ปริพนธ์ พัฒนศักดิ์วงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
9. ผศ.สุนทร ปิยรัตน์วงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
10. รศ.ดร.จรัญ บุญกาญจน์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
11. รศ.ดร.ชาคริต ทองอุไร	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
12. ผศ.ดร.กุลชนาฐ ประเสริฐสิทธิ์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
13. ผศ.ดร.ศกามาศ เกษณ์พัฒนานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
14. รศ.ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
15. รศ.วนิดา รัตนมณี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
16. ผศ.ดร.นภิสพร มีมงคล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
17. ผศ.ดร.รัฐชนา สินธวาลัย	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
18. ผศ.ดร.ชเนศ รัตนวิไล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
19. ผศ.ดร.อรุณ ตั้งขพงษ์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
20. ผศ.ดร.กลางเดือน โพชนา	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
21. ผศ.สงวน ตั้งโพธิธรรม	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
22. ผศ.เจริญ เจตวิจิตร	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
23. ผศ.พิเชฐ ตระการชัยศิริ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
24. รศ.กัลยาณี กุปตานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
25. รศ.ดร.คนุพล ตันนโยภาส	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
26. ผศ.ดร.รัชชัย ปลุกผล	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
27. ผศ.ดร.เกษญา วรรณสินธุ์	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
28. ผศ.ดร.วีรวรรณ สุทธิศรีปก	ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ
29. รศ.ดร.ชนิด เถลิฆานนท์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
30. รศ.สราวุธ จิตงาม	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
31. ผศ.ดร.ชนิษา เกาศล	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
32. ผศ.ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

33. ผศ.ดร.วรพจน์ ประชาเสวี	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
34. ผศ.ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
35. รศ.ดร.พรทิพย์ ศรีแดง	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
36. ผศ.จිරิรัตน์ สกฤรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
37. ดร.ธนันท์ ชูบุอุปการ	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
38. อ.วิวัฒน์ สุทธิวิภากร	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
39. รศ.กำพล ประทีปชัยกูร	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
40. รศ.ปัญญารักษ์ งามศรีตระกูล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
41. รศ.ดร.วราวุธ วิสุทธิเมฆางกูล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
42. รศ.ดร.พฤทธิกร สมิตไมตรี	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
43. ผศ.ดร.เจริญยุทธ เดชวายุกุล	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
44. ผศ.ดร.ธีระยุทธ หลีวิจิตร	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
45. ดร.ฐานันดรศักดิ์ เทพญา	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
46. ดร.กิตตินันท์ มลิวรรณ	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
47. รศ.ดร.มิตรชัย จงเขียวชำนาญ	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
48. ผศ.ดร.ธเนศ เคารพพงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
49. ผศ.ดร.สุนทร วิฑูรพจน์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
50. ผศ.ดร.พิชญา ตันทัยย์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
51. ดร.นิคม สุวรรณวร	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
52. ดร.แสงสุรีย์ วสุพงศ์อัยยะ	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
53. ดร.อนันท์ ชกสุริวงศ์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
54. ดร.สมชัย หลิมศิริโรรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
55. ดร.วชรินทร์ แก้วอภิชัย	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
56. ดร.อารีย์ ธีรภาพเสวี	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
57. อ.ฉัตรชัย จันทร์พริ้ม	ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
58. ดร.วัชรวลี ตั้งคุปตานนท์	หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการ จัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ (MIT)

คณะวิทยาศาสตร์

1. ผศ.ดร.ภัทร อัยรักษ์

ภาควิชาฟิสิกส์

2. ผศ.ดร.วิภาดา เวทย์ประสิทธิ์

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

Mechanical and Mechatronic Engineering

PEC-9 P19

EGT Prediction in Aircraft Engine by Maintenance Build-up Clearances Investigation

Preeyanuch Pichai Pawarej Chomdej

PEC-9 P21

Design and Development of Automatics Adjustable Laser Welding Module

Kitisak Chimklin Chana Raksiri

PEC-9 P33

การศึกษากระบวนการดึงขึ้นรูปลึกของแผ่นไททานเนียมโดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการทดลอง สุรสิทธิ์ ปิยะศิลป์ คมสันต์ วงศ์กาฬสินธุ์

PEC-9 P40

Waxing Tendency of Various Fuels Derived from Mixed Crude Palm Oil

Parinya Mompiboon Theerayut Leevijit Gumpon Prateepchaikul Narat Sin-Udom

PEC-9 P41

A Study of properties and combustion characteristics of diesel emulsion fuel

Kittanaphum Wongvaranon Surachai Sanitjai Surachai Bovornsethanan

PEC-9 P94

Development of Cloths Dryer for Household

Banyat Niyomvas

PEC-9 P99

การควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์
อริราช ประดิษฐ์อภัย มนุศักดิ์ งานทอง



คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ขอมอบเกียรติบัตรนี้เพื่อแสดงว่า

อริราช ประดิษฐ์อภัย มนุศักดิ์ จานทอง

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความเรื่อง

การควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 9 (PEC-9)

วันที่ 2 - 3 พฤษภาคม 2554

ณ โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท (หาดไทรตรังค์) จังหวัดภูเก็ต

ให้ไว้ ณ วันที่ 2 พฤษภาคม 2554

(รองศาสตราจารย์ ดร.จรัญ บุญกาญจน์)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายอิทธิราช ประดิษฐ์อภัย
วัน เดือน ปีเกิด	19 มีนาคม 2525
ที่อยู่	161/2 หมู่ 3 ตำบลนางหลง อำเภอชะอวด จังหวัดนครศรีธรรมราช 80180
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อปี 2549

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

อิทธิราช ประดิษฐ์อภัย, การควบคุมด้วยภาพสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์, การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี 2554 ครั้งที่ 9 วันที่ 2 – 3 พฤษภาคม 2554 โรงแรม เมอร์ลิน บีช รีสอร์ท (หาดไทรตรังค์) จังหวัดภูเก็ต